

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка устройства импульсного подмагничивания синхронного гистерезисного двигателя

УДК 621.313.17.011.22.018.51:681.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Садыков Роман Вадимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02. Электроэнергетика и электротехника	Тютеева П.В.	к.т.н., доцент		

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P5	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P8	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P9	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (специальность): 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ): Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Тютеева П.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Садыкову Роману Вадимовичу

Тема работы:

Разработка устройства импульсного подмагничивания синхронного гистерезисного двигателя	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.05.2019 № 4099/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект проектирования – система импульсного подмагничивания синхронно-гистерезисного двигателя Технические данные: Напряжение импульса – 54 В, Напряжение питающей сети – 27 В, Ток импульса – 0,1 А, Ток питающей сети – 0,2 А, Частота импульсов – 2400 Гц, Частота сети – 400 Гц.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Аналитический обзор о синхронно-гистерезисном двигателе; 2. Анализ разновидностей систем импульсного подмагничивания; 3. Описание процесса переманичивания ротора; 4. Требования к гиродвигателю; 5. Финансовый менеджмент и социальная ответственность; 6. Список литературных источников
Перечень графического материала	1. Чертеж системы импульсного подмагничивания синхронно-гистерезисного двигателя
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Садыков Роман Вадимович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Садыкову Роману Вадимовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования является система импульсного подмагничивания синхронного гистерезисного двигателя
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных вредных факторов: 1. Шум 2. Вибрация 3. Недостаток естественного света 4. Возможные ненормативные условия Анализ выявленных опасных факторов: 1. Опасность электропоражения 2. Пожарная опасность
3. Экологическая безопасность:	Разработка мер по сокращению количества выбросов в атмосферу, гидросферу и литосферу и правил по утилизации отходов
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятные причины возникновения ЧС: пожар и электропоражения
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Специальные трудовые нормы законодательства, организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.02.19
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Садыков Роман Вадимович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Д	Садыкову Роману Вадимовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	НОЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): заработные платы сотрудников, страховые отчисления, накладные расходы.	Заработная плата сотрудников ТП определяется на основании Положения об оплате труда в ТПУ. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 28.11.2018 №446 – ФЗ. Накладные расходы определяются на основании Сметы расходов по проектам ТПУ.
2. Продолжительность выполнения ТП	Приблизительная продолжительность выполнения ТП составит 120 календарных дней.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов и отчислений.	30,2% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценку потенциала и перспективности реализации ТП можно определить с помощью SWOT-анализа и интегральной оценки ресурсоэффективности
2. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП	Для составления графика технико-конструкторских работ используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график инженерных работ, позволяющий лучше спланировать процесс реализации ТП
3. Формирование сметы	В процессе формирования сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> • материальный затраты ТП; • затраты на специальное оборудование; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы.

Перечень графического материала

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Основные показатели эффективности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.02.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Д	Садыков Роман Вадимович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 89 с., 28 рис., 18 табл., 28 источников, прил. 1.

Ключевые слова: синхронно-гистерезисный двигатель, СГД, гироскоп, гироскоп, устройство импульсного подмагничивания, проектирование, перемагничивание, выпускная квалификационная работа, ВКР.

Объектом исследования является устройство импульсного подмагничивания синхронно-гистерезисного двигателя.

Цель работы – проектирование устройства импульсного подмагничивания гистерезисного гиродвигателя для применения в составе гироскопа навигационных систем автономных объектов.

В процессе исследования проводились расчёт в программе MathCad 15, графическое проектирование в Multisim 12, обработка графических материалов в программе Microsoft Visio.

В результате исследования разработана система управления устройства импульсного подмагничивания.

Основные технико-эксплуатационные характеристики: Ток двигателя номинальный, максимальный ток, частота питания, фаза по напряжению переднего фронта, фаза по напряжению заднего фронта, кратность импульса перевозбуждения.

Степень внедрения: ВКР выполнена по заданию отделения «Электроэнергетики и электротехники»

Область применения: навигационные системы автономных объектов

Содержание

Введение.....	10
1. Синхронно-гистерезисный двигатель.....	12
1.1. Принцип действия синхронно-гистерезисного двигателя.....	12
1.2. Перевозбуждение синхронно-гистерезисного двигателя.....	16
1.3. Устройства импульсного подмагничивания.....	23
2. Применение синхронно-гистерезисных двигателей в гироскопических приборах.....	35
2.1. Основные свойства гироскопа.....	35
2.2. Влияние гиродвигателя на точность прибора.....	37
2.3. Требования к гиродвигателям и способы их обеспечения.....	46
3. Расчет устройства импульсного намагничивания.....	50
3.1. Расчет трансформатора.....	51
3.2. Выбор силовых ключей.....	53
3.3. Выбор драйверов.....	54
3.4 Разработка системы управления устройством импульсного подмагничивания.....	55
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	58
4.1. SWOT-анализ системы импульсного подмагничивания.....	58
4.2. Планирование работ и оценка времени их выполнения.....	61
4.2.1. Структура работ в рамках технического проекта.....	61
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения технического проекта...	63
4.2.3. Разработка графика проведения технического проекта.....	65
4.3. Составление сметы затрат на разработку технического проекта.....	65
4.3.1. Расчет материальных затрат.....	67
4.3.2. Затраты на заработанную плату.....	68
4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	69
4.4.4. Затраты на накладные расходы.....	69
4.4.5. Формирование сметы затрат технического проекта.....	69

4.5. Определение ресурсоэффективности проекта.....	70
5. Социальная ответственность.....	72
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	73
5.2. Производственная безопасность.....	76
5.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	77
5.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	81
5.3. Экологическая безопасность.....	82
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	83
Заключение.....	85
Список использованной литературы.....	86
Приложение А.....	89

Введение

Прогресс технологии электронных компонентов, являющиеся основой силовой электроники и микропроцессорной техники, в совокупности с методами управления электромеханическими и полупроводниковыми преобразователями были объединены в единый интеллектуальный электромеханический модуль, представляющий собой электропривод, или мехатронную систему. Основой мехатронной системы являются взаимосвязи между механическими, электронными и вычислительными элементами.

Работа статических преобразователей с автономными инверторами тока или напряжения, а также микропроцессорные устройства влияют на качество работы современных мехатронных систем. Статические преобразователи в соответствии с требованиями заданного технологического процесса или приводимого в движение механизма организуют практические любые законы изменения напряжения и частоты статора, скорости и углового положения ротора электрической машины.

Применение любого электродвигателя в составе электрического привода для решения любой задачи подразумевает знание регулировочных возможностей, особенностей приводимых в движение механизмов и выполняемых ими технологических операций. Например, для гироскопического электропривода, который используется в инерциальных системах навигации, в ультрацентрифугах для разделения изотопов тяжелых элементов, электроверетен и т.д., двигатель конструктивно объединяется с инерционным механизмом – гиромаховиком, веретеном или полостью ультрацентрифуги. От режимов работы электродвигателя будет зависеть качество выполняемых задач в конкретном технологическом процессе электропривода.

В ряде электроприводов спец. назначения надежное применение нашел синхронно-гистерезисный двигатель, в котором принцип работы и регулировочные возможности удачно сочетаются с требованиями заданного

технологического процесса. Регулирование данного вида двигателя при помощи современных полупроводниковых приборов возможно как по частоте и напряжению, так и по намагниченности ротора. Благодаря способности гистерезисного материала ротора к перемагничиванию со стороны обмоток статора синхронно-гистерезисный двигатель наделяется не только возможностью самозапуска при любом моменте инерции приводимого в движение механизма, но и получение шагового режима, сверхнизких скольжений и демпфирования колебаний скорости ротора, работа при любом коэффициенте мощности.

Целью данной работы является проектирование системы управления синхронно-гистерезисного двигателя для применения в навигационных системах автономных объектов.

Для достижения поставленной цели нужно решить ряд задач:

- Провести обзор литературы по теме синхронно-гистерезисного гиروهода;
- Подобрать оптимальную схему устройства импульсного подмагничивания;
- Рассчитать устройство импульсного подмагничивания;
- Рассчитать затраты на проект по реализации устройства импульсного подмагничивания.
- Рассмотреть условия труда и правила безопасности при реализации проекта импульсного подмагничивания.

1. Синхронно-гистерезисный двигатель

1.1. Принцип действия синхронно-гистерезисного двигателя

Синхронно-гистерезисный двигатель определяется как устройство, где вращающий момент создается при помощи взаимодействия вращающегося поля статора с магнитным полем ротора, возникающим в результате его намагничивания полем статора при подключении двигателя к сети [1].

Данный вид двигателя обладает такими преимуществами, как:

- Простота конструкции с высокой надежностью;
- Отсутствие зависимости частоты вращения ротора от изменения напряжения в сети и нагрузки при наличии определенного запаса по моменту;
- Плавный вход в синхронизм независимо от величины момента инерции ротора и наличие пускового момента;

Синхронно-гистерезисные двигатели широко применяются в гироскопических приборах систем навигации автономных объектов, в высокоскоростных многодвигательных технологических линиях по разделению изотопов тяжелых элементов, где необходимо непосредственно присоединить двигатель к инерционному механизму или полностью их совместить в случае отсутствия доступа к валу. Скорость данных механизмов способна достичь такого значения, как 10^5 об/мин. Также синхронно-гистерезисные двигатели применяются в устройствах воспроизведения и записи звуков и изображений [2], где эти двигатели вращают диски магнитофона, магнитные головки видеомэгнитофонов, и в фототелеграфных устройствах.

Основными недостатками синхронно-гистерезисного двигателя являются склонность к колебаниям ротора и низкие энергетические показатели (КПД, $\cos\varphi$) [3]. Самым эффективным способом устранения данных недостатков является применение устройств перевозбуждения материалов ротора. При прохождении этого пути магнитная «податливость»

ротора со стороны статора оказывает помощь в создании новых способов и устройств управления синхронно-гистерезисного двигателя.

Статор синхронно-гистерезисного двигателя не отличается от статора асинхронного двигателя, а ротор представляет собой кольцо, выполненное из относительно магнитотвердого материала типа викаллой, которое насажено на немагнитную или магнитомягкую втулку (рис. 1.1).

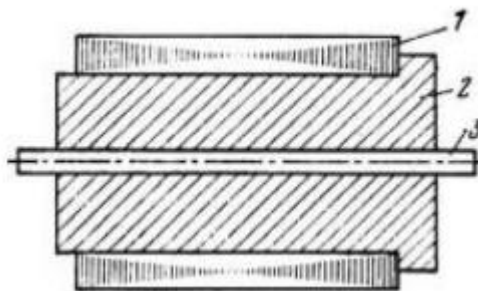


Рисунок 1.1 - Ротор синхронно гистерезисного двигателя

1 – кольцо из магнитотвердого материала; 2 – втулка из немагнитного или магнитомягкого материала; 3- вал

Иногда втулка отсутствует, а активный слой насаживается непосредственно на вал. Существует также и торцевое исполнение двигателя, где ротор представляет собой диск. Особенностью материала ротора является то, что он по магнитным свойствам занимает промежуточное положение между магнитомягкими сталями, которые применяются при изготовлении сердечников трансформаторов, и магнитотвердыми, которые нужны для изготовления постоянных магнитов. Благодаря этому свойству материал ротора способен намагничиваться и перемагничиваться при помощи МДС обмотки статора.

Принцип работы синхронно-гистерезисного двигателя состоит в том, что при его подключении к сети переменного тока в обмотке статора создается вращающееся магнитное поле (рис. 1.2).

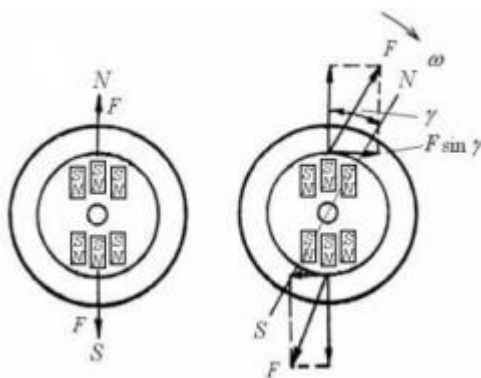


Рисунок 1.2 - Возникновение электромагнитного момента в синхронно-гистерезисном двигателе

В первое время под действием этого поля магнитные домены на роторе начинают перестраиваться из беспорядочного положения в положение, соответствующее направлению действующего на эти частицы магнитного поля. Тогда возникает собственная намагниченность ротора. Во время поворота поля статора полюса на роторе отстают от него из-за сил межкристаллического доменного трения. Если разница между полем статора и неподвижным ротором равна углу γ , то домены способны преодолеть силу межкристаллического трения, «срываясь» со своих мест, и следуют за вращающимся полем статора без отставания, при этом происходит движение ротора. Такое магнитное доменное запаздывание представляет собой «явление гистерезиса», а сам двигатель называется «гистерезисным». В результате возникающей тангенциальной составляющей силы взаимодействия между статором и ротором появляется гистерезисный момент:

$$M = c \cdot \Phi_P \cdot F \cdot \sin \gamma, \quad (1.1)$$

где Φ_P и F – поток, обусловленный намагниченностью ротора и МДС статора соответственно; c – постоянный коэффициент.

Независимо от момента инерции нагрузки ротор будет ускоряться, пока поле статора не достигнет синхронной скорости, тем самым «войдя в синхронизм». Далее двигатель будет работать как синхронная машина. В

этом случае угол гистерезиса γ является также и углом нагрузки, но его максимальное значение в 2-3 раза меньше чем у максимального значения угла ($\pi/2$) неявнополюсного синхронного двигателя. Таким образом, синхронно-гистерезисный двигатель развивает вращающий момент единой «синхронной природы» при асинхронной и синхронной угловой скорости вращения ротора. В отличие от асинхронного двигателя, величина пускового момента не будет зависеть от скорости вращения (скольжения) ротора. Рис. 1.3 показывает, как выглядит механическая характеристика синхронно-гистерезисного двигателя.

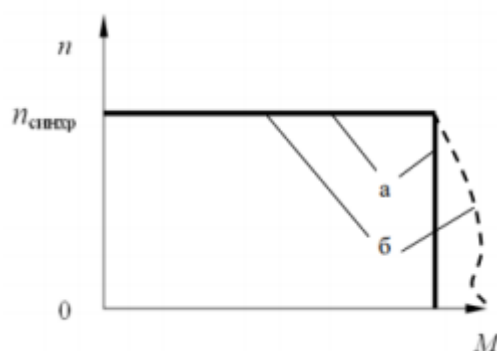


Рисунок 1.3 - Механическая характеристика идеального (а) и реального (б) синхронно-гистерезисного двигателя

В реальной механической характеристике (б), в отличие от идеальной (а), будет присутствовать асинхронный участок, возникающий из-за вихревых токов.

1.2. Перевозбуждение синхронно-гистерезисного двигателя

Энергетические показатели гистерезисного двигателя не являются удовлетворительными из-за того, что магнитный поток ротора является вторичным, так как он наведен рабочим магнитным потоком статора. Режим работы данного двигателя будет таким же, как и у недовозбужденной синхронной машины. Однако у гистерезисного двигателя существует возможность увеличить намагниченность ротора путем вхождения двигателя в так называемый режим перевозбуждения, который реализуется путем осуществления цикла «повышение - понижение» питания. На рис. 1.4 показан процесс перевозбуждения синхронно-гистерезисного двигателя.

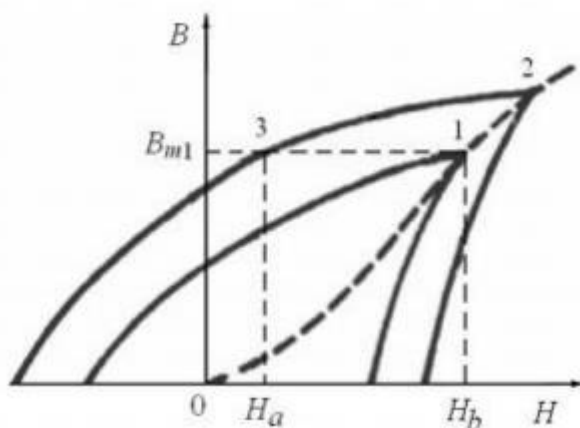


Рисунок 1.4 – процесс перевозбуждения синхронно - гистерезисного двигателя

Пусть в исходном состоянии режим работы материала ротора характеризовался петлей гистерезиса в рабочей точке 1, соответствующей индукции B_{m1} и напряженности поля H_b . При увеличении напряжения питания рабочая точка перемещается по основной кривой намагничивания в положение 2. Далее происходит понижение питающего напряжения, при котором точка занимает положение 3. При этом точка 3 должна характеризоваться той же индукцией, как и в точке 1, но уже с меньшей напряженностью поля H_a . Это говорит о том, что ротор синхронно-гистерезисного двигателя после перемагничивания больше не нуждается в

увеличении намагничивающего тока статора. Следовательно, после проведения подобного цикла происходит существенное снижение реактивного тока двигателя, потерь в активном сопротивлении статора, а также повышается перегрузочная способность двигателя.

В процессе запуска, когда скорость вращения ротора меньше скорости вращения поля статора, материал ротора будет подмагничен, а потери на нем будут пропорциональны скольжению:

$$P_f = P_{r0} \cdot f_1 \cdot s \cdot V_p, \quad (1.2)$$

где P_{r0} – выделяемые за цикл перемагничивания при заданной индукции на роторе удельные гистерезисные потери; f_1 – частота вращения поля статора; s – скольжение ротора, V_p – объем гистерезисного материала ротора.

При этом механическая мощность и момент двигателя выражаются соответственно таким образом:

$$P_2 = P_{эм} - P_f = P_{r0} \cdot f_1 \cdot V_p - P_{r0} \cdot f_1 \cdot s \cdot V_p = P_{r0} \cdot f_1 \cdot (1-s) \cdot V_p, \quad (1.3)$$

где $P_{эм}$ – электромагнитная мощность;

$$M = P_2 / \omega_2 = p \cdot P_{r0} \cdot V_p / 2\pi, \quad (1.4)$$

где $\omega_2 = 2\pi \cdot f_1 \cdot (1-s) / p$ – угловая скорость вращения ротора, p – число пар полюсов.

Удельные гистерезисные потери P_{r0} пропорциональны площади петли гистерезиса и определяются через индукцию и напряженность поля на роторе:

$$P_{r0} = \oint B dH. \quad (1.5)$$

Форма петли гистерезиса является показателем изменения напряженности поля в пространстве и времени в любой точке активного материала ротора при заданном законе изменения индукции в этой точке. Значение угла γ также определяется формой петли гистерезиса (рис. 1.5). Поскольку момент двигателя определяется взаимодействием первых гармонических составляющих двигателя, то и угол γ также следует

определить как угол между первыми гармониками индукции B и напряженности поля ротора H_{a1} .

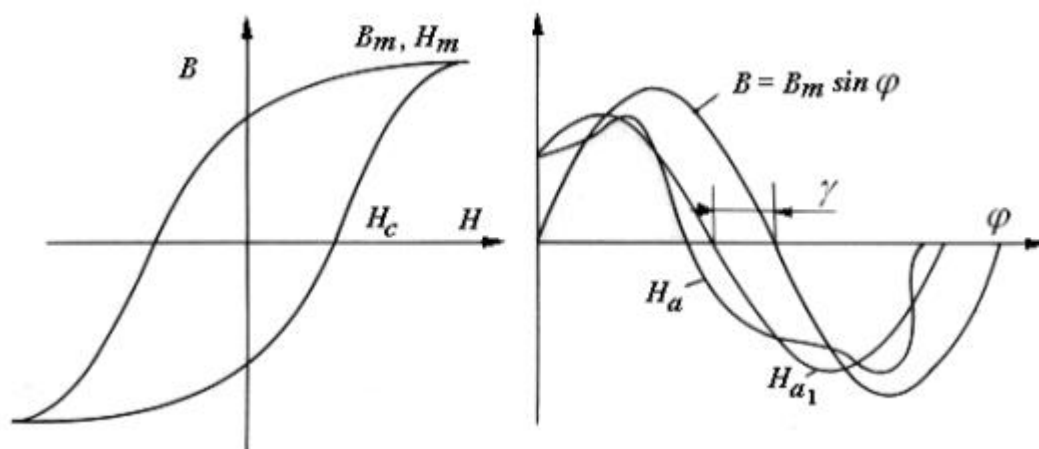


Рисунок 1.5 – К определению гистерезисного угла

Характеристики магнитотвердых материалов не являются линейными, поэтому при синусоидальном характере $B(t)$ несинусоидальной будет $H(t)$ и наоборот. Кроме того, напряженность и индукция содержат высшие пространственные гармонические из-за особенностей конструктивного исполнения обмотки двигателя.

В синхронно-гистерезисном двигателе можно рассмотреть процесс перемагничивания как в асинхронном, так и в синхронном режиме. При первоначальном подключении двигателя к сети материал ротора намагничивается и перемагничивается (при условии, что изначально материал ротора полностью размагничен). При этом рабочая точка (для каждой малой области материала ротора) перемещается по координатам B - H в соответствии с рис 1.6 а. При несимметричном изменении напряженности поля в течение периода возникает несимметричное перемагничивание (рис. 1.6 б, точки 1-4) или несимметричное по частным циклам (рис 1.6 в, точки 1-6) [3].

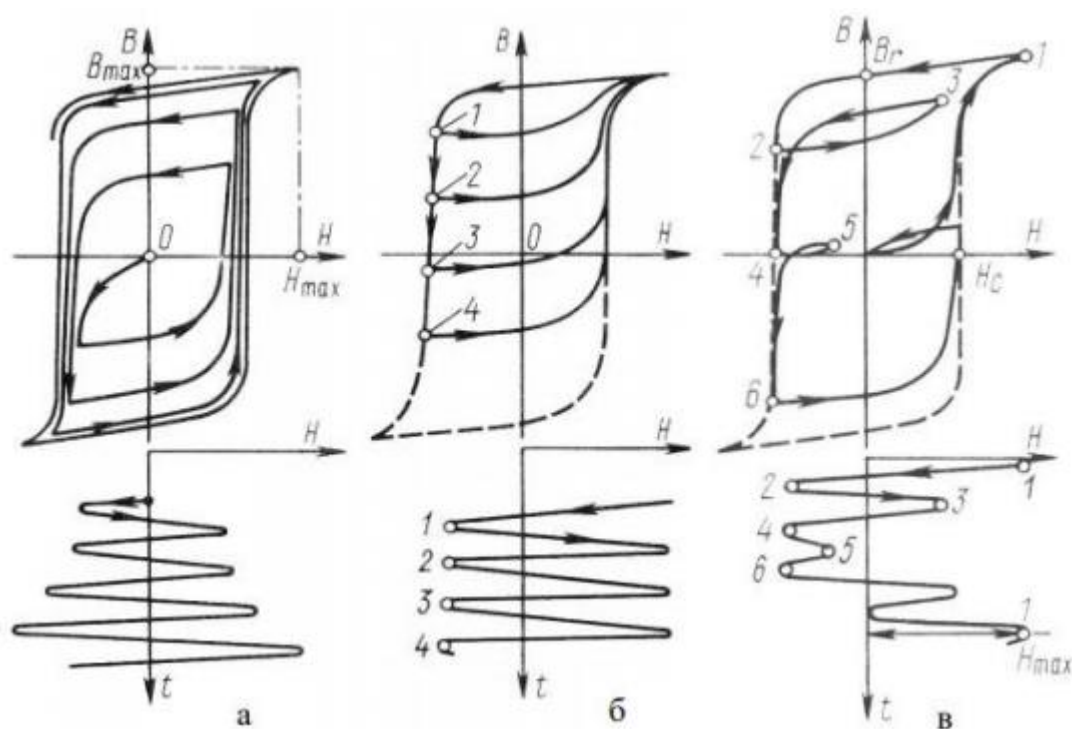


Рисунок 1.6 – к намагничиванию материала ротора синхронно-гистерезисного двигателя

Когда ротор разгоняется, его частота уменьшается и достигает нулевого значения при вхождении двигателя в синхронизм. При этом ротор занимает положение в соответствии с моментом нагрузки, а элементарные области материала ротора принимают значения B и H в соответствии с петлей «распределения», которая в начальный момент входа в синхронизм соответствует петле перемагничивания и характеризует магнитное состояние точек ротора по полюсному делению. Когда момент нагрузки меньше пускового, ротор стремится занять близкое к продольному положение, то есть в соответствие с положением МДС статора, в пределе совпадая с ним. При этом магнитное состояние точек ротора изменяется в соответствии с траекториями намагничивания, причем у одних точек увеличивается напряженность поля, у других уменьшается. В режиме холостого хода двигателя петля распределения становится бестелесной кривой наподобие кривой первоначального намагничивания (рис 1.7).

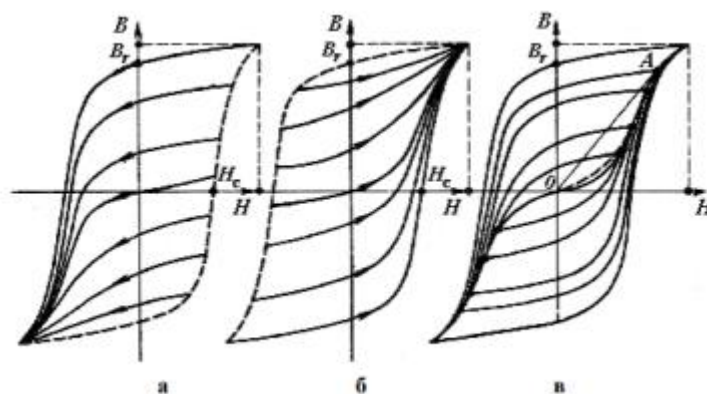


Рисунок 1.7 – Кривые намагничивания (а), размагничивания (б) и перемагничивания (в) гистерезисного материала

В процессе намагничивания размагниченного ротора, который неподвижен относительно статора поля статора, точки ротора намагнитятся также в соответствии с первоначальной кривой намагничивания, незначительно отличающейся от кривой намагничивания в предыдущем случае. При повороте такого ротора на некоторый угол относительно поля статора состояние точек ротора также изменится в соответствии с траекториями намагничивания и размагничивания, причем, чем больше угол поворота ротора, тем шире петля распределения (рис. 1.8, точки а-к) [3].

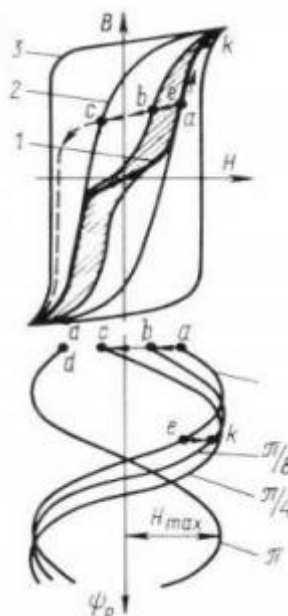


Рисунок 1.8 – Кривые распределения поля при повороте ротора относительно поля статора

При отключении двигателя от питающей сети он будет работать в генераторном режиме. Тогда напряженность поля в зазоре меняет свой знак, и ротор размагничивается до некоторого конечного состояния в соответствии с траекториями размагничивания материала. При этом остаточная ЭДС определяется способом намагничивания ротора. Если намагничивание было произведено вращающимся полем статора и точки ротора входили на петлю распределения, то ЭДС при отключении будет выше, чем в случае намагничивания полем статора, неподвижным относительно поля ротора.

Кроме того, конструкция двигателя влияет на особенности намагничивания ротора. Изначально процесс намагничивания ротора в синхронно-гистерезисном двигателе связан с понятием вращающегося магнитного поля и вращательного гистерезиса, в отличие от линейного перемагничивания материала как в сердечнике трансформатора. Если ротор выполнен из сплошного гистерезисного материала, то в нем присутствует вращательное перемагничивание. В общем случае эллиптического перемагничивания материала вводится коэффициент эллиптичности как отношение тангенциальной и радиальной составляющих индукции $k_{\vartheta} = B_{\tau} / B_{\rho}$. Исследования показали, что явление гистерезиса при вращательном и линейном перемагничивании принципиально отличаются (рис. 1.9) [4]. Если тонкий ротор насажен на магнитную втулку, то в нем круговое перемагничивание вырождается в тангенциальное линейное. При магнитной втулке имеет место радиальное линейное перемагничивание.

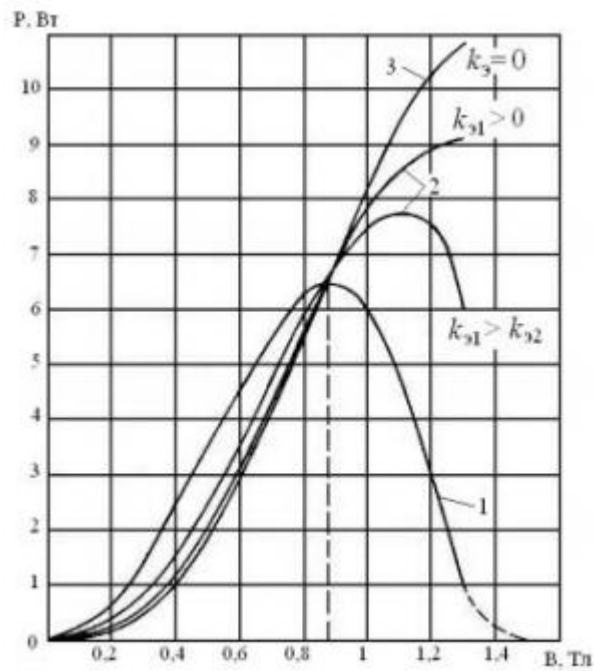


Рисунок 1.9 – Зависимость потерь на гистерезис от индукции при круговом (1), эллиптическом (2) и линейном (3) перемagnetивании материала ротора

Таким образом, результат намагничивания ротора будет зависеть от режима намагничивания, предыстории его состояния и конструкции двигателя. В общем случае процесс намагничивания невозможно описать математическими выражениями общего вида, а попытки моделирования режимов работы синхронно-гистерезисного двигателя, тем более при периодическом импульсном намагничивании материала ротора, не дают высокой точности [5].

1.3. Устройства импульсного намагничивания

Если нам нужно улучшить энергетические показатели синхронно-гистерезисного двигателя, то нужно воспользоваться устройствами намагничивания, работающие по циклу «повышение-понижение» напряжения питания двигателя. Для того, чтобы намагнитить материал ротора, достаточно сформировать напряжение в виде импульса длительностью 0,1-0,2 периода питающего напряжения. При периодическом формировании импульсов намагничивания с частотой в 10-20 раз ниже частоты напряжения питания будет происходить демпфирование колебаний угла нагрузки. Помимо эффекта демпфирования и стабилизации магнитного состояния ротора, можно достичь эффекта сверхнизкого скольжения ротора [6].

Устройства импульсного намагничивания в зависимости от схемы могут быть использованы в гистерезисном электроприводе как самостоятельно, т.е. независимо от выполнения первичного источника питания, так и в составе источника питания – автономного инвертора, как его неотъемлемая часть. В любом случае они будут выполняться в виде блоков импульса намагничивания. Также нужно отметить, что в гистерезисном электроприводе применяется форсированный запуск при повышении напряжения питания двигателя до двух раз. При вхождении двигателя в синхронизм напряжение будет снижаться, реализуя эффект перевозбуждения.

Существует огромный выбор схем гистерезисных электроприводов с импульсным намагничиванием, где основной и импульсный источники соединены по-разному. При проектировании конкретных блоков нужно проводить такой подбор алгоритмов управления двигателем, чтобы не возникало дополнительных возмущений по моменту и скорости синхронно-гистерезисного двигателя при повышении энергетических показателей. Предпосылкой для выбора подобных алгоритмов являются правильные представления об относительном пространственном расположении векторов

намагничивающих сил фазных обмоток синхронно-гистерезисного двигателя от основного источника питания, векторов намагничивающих сил этих же обмоток от блока импульсного намагничивания и вектора намагниченности ротора.

Рис. 1.10 показывает одну из схем управления, производящую форсированный запуск синхронно-гистерезисного двигателя с последующим перевозбуждением или формированием импульсов напряжения на двигателе во время работы.

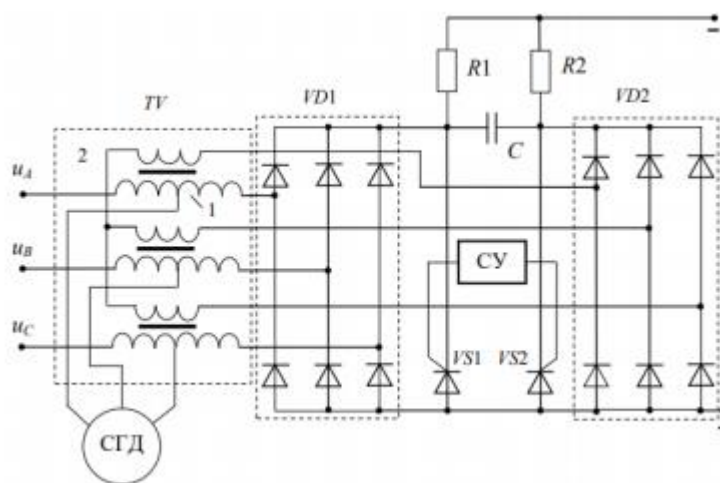


Рисунок 1.10 – Устройство намагничивания синхронно-гистерезисного двигателя с автотрансформатором

Основным элементом является трехфазный трансформатор TV, состоящий из первичной 1 и вторичной 2 обмотки. На первичную обмотку через отпайки подключен двигатель или подано напряжение сети. Концы фаз первичной и вторичной обмоток подключаются соответственно к бесконтактным тиристорам VS1, VS2 через выпрямители VD1, VD2. Запуск гистерезисного двигателя происходит при выключенном тиристоре VS1 и включенном VS2. Тогда двигатель работает при полном напряжении сети, а трансформатор - в режиме трансформатора тока. При окончании запуска тиристоры переключаются, а напряжение на двигателе резко падает, т.к. оно определяется работой трансформатора в понижающем режиме.

В том случае, если напряжение сети подано на отпайки первичной обмотки, а двигатель подключен к сетевым контактам, то пуск будет происходить при включенном тиристоре VS1 и отключенном VS2, а трансформатор будет работать в повышающем режиме. Когда запуск заканчивается, оба тиристора изменяют свое положение, а напряжение на синхронно-гистерезисном двигателе понизится до напряжения сети.

На рис. 1.11 представлена схема блока импульсного намагничивания на основе нулевого инвертора напряжения.

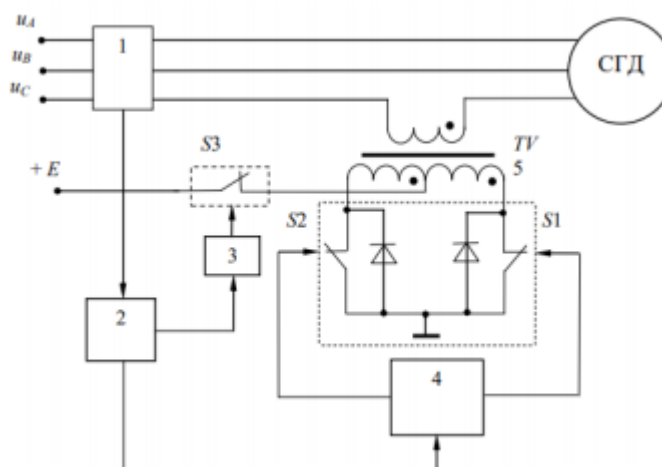


Рисунок 1.11 – Блок импульсного намагничивания на основе нулевого инвертора

При отсутствии импульса намагничивания ключи S1 и S2 замкнуты, ключ S3 разомкнут. Тогда трансформатор 5 работает как трансформатор тока с замкнутой накоротко вторичной обмоткой. В процессе формирования подмагничивающих импульсов через схемы управления 3 и 4 ключ S3 будет периодически замыкаться, а один из ключей S1 или S2 размыкаться. В этом случае на выходе трансформатора 5 образуется двуполярное выходное импульсное напряжение, которое складывается с напряжением питания двигателя. При этом статор будет подмагничиваться только лишь с обеих сторон. Импульсы намагничивания будут сформированы по длительности и фазе в блоке 2, синхронизуясь с напряжением сети через датчики блока 1.

Преимуществом этой схемы является то, что при выходе из строя любого ключа целостность фазных проводников не нарушится. Кроме того, эта схема работает при любом основном источнике.

На рис. 1.12 представлены четыре варианта реализации бестрансформаторных схем импульсного намагничивания на выходе автономного инвертора или сети [3].

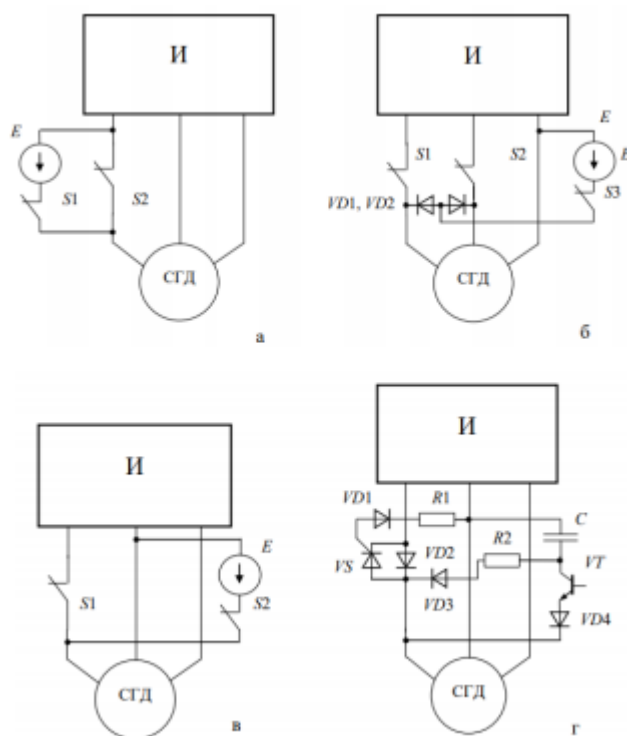


Рисунок 1.12 – Варианты бестрансформаторных схем импульсного намагничивания на выходе основного источника питания

На рис. 1.12 при замкнутом ключе $S1$ и разомкнутом $S2$ формируется импульс намагничивания. Но в этой схеме придется пропускать импульсный ток через основной источник, что является недостатком схемы. Схема на рис. 1.12 б устраняет данный недостаток. Во время подачи импульса намагничивания ключи $S1$ и $S2$ отключают основной источник питания, тогда ток, протекающий от источника, будет замкнут через фазы двигателя.

Схема на рис 1.12 в является частным случаем предыдущего способа подмагничивания.

Практическая реализация схемы на рис. 1.12 в представлена на рис. 1.12 г. Блок импульсного намагничивания состоит из последовательного полупроводникового ключа, основанный на диодах VD1, VD2 и тиристоре VS. Конденсатор С цепью заряда R2 – VD3 является источником импульсов. Транзисторный ключ VT работает синхронно с ключами инвертора. Когда транзистор VT отключен, последовательный полупроводниковый ключ включен. При подаче намагничивающего импульса ключи изменяют свое состояние.

Общим недостатком всех этих схем состоит в наличии большого количества полупроводниковых ключей в цепях питания синхронно-гистерезисного двигателя.

На рис. 1.13 представлена схема гистерезисного электрического привода с блоком импульсного подмагничивания в виде вольтодобавочного инвертора И1, расположенного в цепи постоянного тока основного инвертора И2.

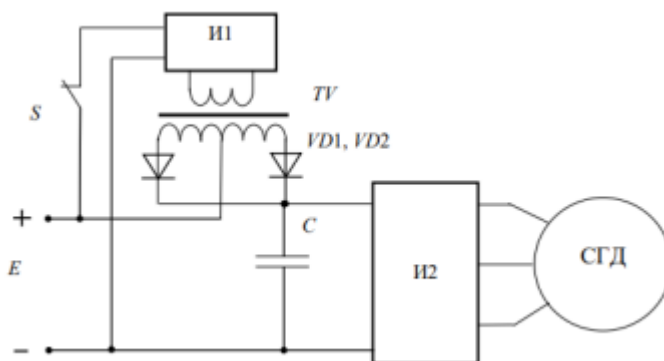


Рисунок 1.13 – Блок импульсного намагничивания с дополнительным инвертором

Когда ключ S1 замкнут, на входе основного инвертора возникнет повышенное напряжение. Но компенсирующий конденсатор С затрудняет формирование узких импульсов намагничивания [3].

Существуют также варианты реализации блоков импульсного намагничивания, которые используют реактивную энергию. Рис. 1.14 показывает некоторые способы реализации этих схем.

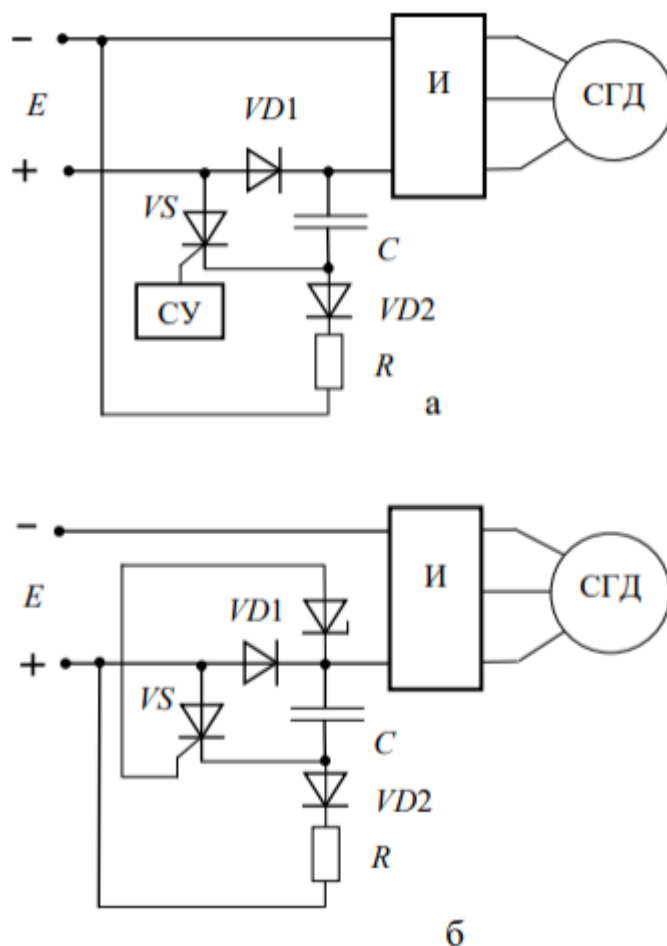


Рисунок 1.14 – Схемы импульсного намагничивания, использующие реактивную энергию синхронно-гистерезисного двигателя

Во время работы в гистерезисном приводе циркулирует реактивная энергия, источником которой является недовозбужденный синхронно-гистерезисный двигатель с коэффициентом мощности менее 0,528, а также резкие фронты переключения ключей инвертора. При этом на рис. 1.14 а конденсатор С заряжается реактивным током, протекающим через диод VD2 и резистор R. Тиристор VS будет открываться по сигналам схемы управления, тогда конденсатор будет последовательно подключен с основным источником постоянного тока E. На рис 1.14 б конденсатор будет заряжаться через источник E, который в этом случае будет обладать проводимостью по переменному току. При превышении напряжении на стабилитроне выше критического будет его пробой, тогда тиристор VS откроется, и конденсатор С будет подключен последовательно с основным источником постоянного

тока E . Двигатель перевозбудится только после разряда конденсатора. При этом коэффициент мощности увеличится и прекратится циркуляция реактивной энергии через инвертор. При потере дополнительной намагниченности процесс будет повторяться. В представленном выше рис. 1.14 будет протекать ток по цепи намагничивания, который образует нежелательные пульсации напряжения. Данное явление отсутствует в схеме на рис. 1.15.

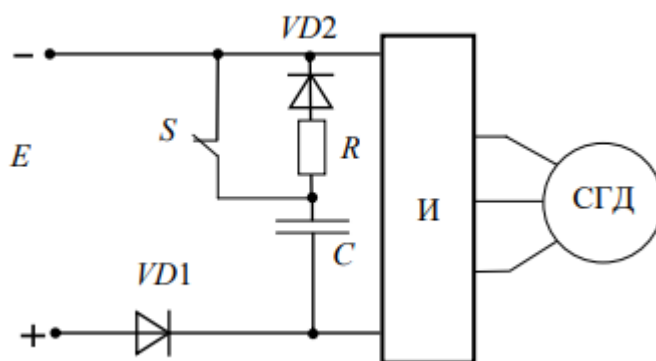


Рисунок 1.15 – Электропривод синхронно-гистерезисного двигателя без протекания импульсного тока намагничивания через основной источник

Во время работы слабовозбужденного двигателя конденсатор C заряжается реактивным током до напряжения питания, которое больше напряжения основного источника E . При достижении напряжения на конденсаторе, например, вдвое выше, чем на основном источнике, полупроводниковый ключ S замыкается и к двигателю прикладывается повышенное напряжение. При этом диод $VD2$ предотвращает протекание импульсного тока через основной источник.

Развитием выше представленных устройств импульсного подмагничивания с использованием реактивной энергии являются схемы, которые учитывают особенности автономных инверторов напряжения. Одна из таких схем представлена на рис 1.16.

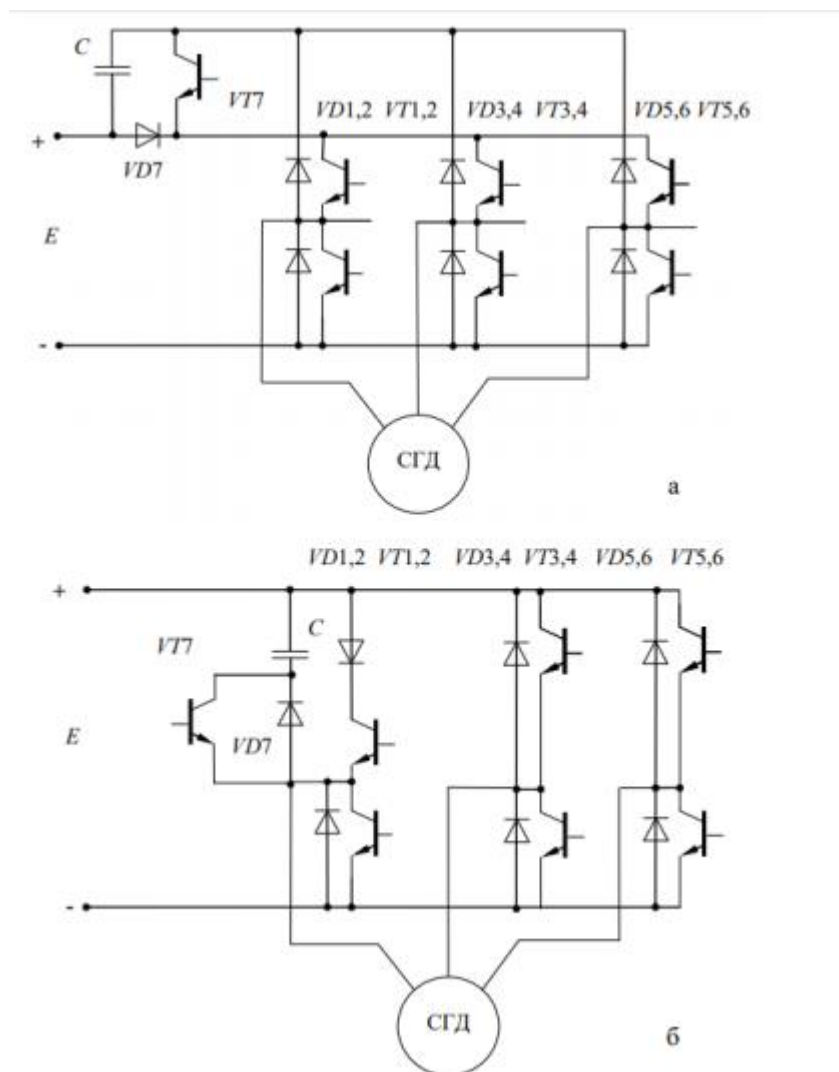


Рисунок 1.16 – Варианты устройств импульсного намагничивания с использованием моста обратных диодов автономного инвертора

Согласно рис. 1.16 а конденсатор С заряжается через мост обратных диодов инвертора и через основной источник питания. При напряжении на конденсаторе, равном напряжению основного источника, транзистор VT7 замыкается, и конденсатор будет включен последовательно с основным источником питания. К двигателю прикладывается двойное напряжение. По мере разряда конденсатора двигатель перевозбуждается.

В схеме на рис. 3.7 б при потере двигателем перевозбуждения или выхода из синхронизма его реактивный ток резко возрастает и через обратный диод VD7 заряжает конденсатор. Далее конденсатор будет разряжаться при включении транзистора VT7, перевозбуждая двигатель. В

процессе разряда конденсатор будет включен последовательно с основным источником питания инвертора. Диод VD1 предотвращает протекание инверсного тока через транзистор VT1.

На рис. 1.17 изображена еще одна схема устройства намагничивания, в которой используются пульсации входного тока инвертора.

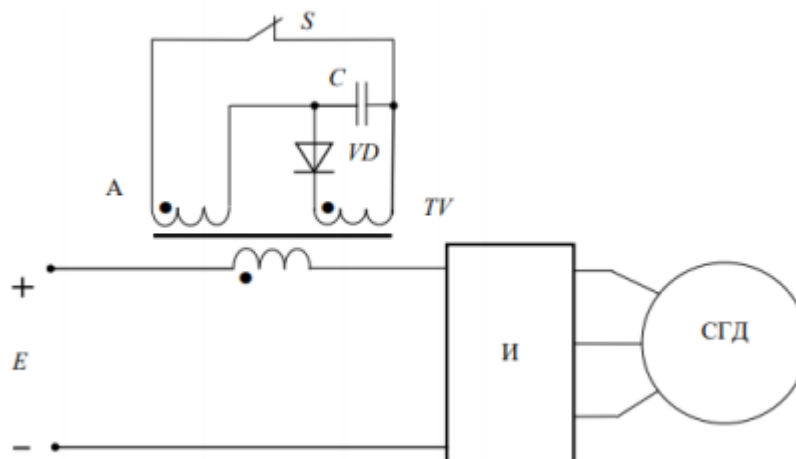


Рисунок 1.17 – устройство перевозбуждения синхронно-гистерезисного двигателя на основе использования пульсаций тока инвертора

Ток пульсации протекает через цепь питания инвертора И в первичной обмотке трансформатора, трансформируется во вторичную обмотку трансформатора, заряжая конденсатор С. В случае замыкания ключа S, энергия, накопленная в конденсаторе, будет трансформироваться через обмотку А в цепь питания инвертора в виде короткого импульса, нужный для перевозбуждения двигателя. Во время паузы между импульсами на конденсаторе накапливается достаточно энергии, чтобы перевозбудить двигатель. Необходимые для возбуждения параметры импульса регулируются коэффициентом трансформации трансформатора TV и режимом работы ключа S.

При перевозбуждении двигателя его коэффициент мощности приближается к единице, нагрузка стремится быть активной, а пульсации тока в инверторе сокращаются. При таком режиме работы последовательно включенная обмотка трансформатора будет работать как сглаживающий

дроссель. В этой схеме отсутствуют полупроводниковые ключи в цепи питания инвертора, что является преимуществом данного способа подмагничивания.

Особенность импульсного намагничивания во время формирования импульсов в цепи питания инвертора состоит в том, что напряжение двигателя в каждой фазе повышается симметрично. При таком формировании импульсной МДС со стороны статора фактическое положение ротора, определяемое углом нагрузки, учитываться не будет. В итоге это может привести к перемагничиванию материала ротора со сдвигом полюсов по его телу и возникновению скольжения. Во избежание данного явления во время формирования импульсов нужно задержать работу ключей инвертора так, чтобы полюса ротора были совмещены в пространстве с импульсной МДС статора. В этом случае двигатель останется в синхронном режиме. Необходимость в задержке работы ключей инвертора отсутствует в схемах с блоками импульсного намагничивания, размещенных на выходе инвертора.

Еще одна особенность при формировании импульсов будет в рассеивании электромагнитной энергии в обмотках статора после прохождения импульса. После его прохождения в зависимости от схемы намагничивания образуется несимметричное магнитное поле, чье время затухание определяется постоянной времени цепи протекания тока. Вращающийся ротор теряет часть полученной намагниченности, снижая эффективность перевозбуждения. Для сохранения намагниченности можно быстро погасить неподвижное относительно пространства поле. Двигатель во время гашения поля отключать нельзя, чтобы избежать перенапряжения. На рис. 1.18 представлена схема устройства импульсного намагничивания с цепью гашения энергии поля.

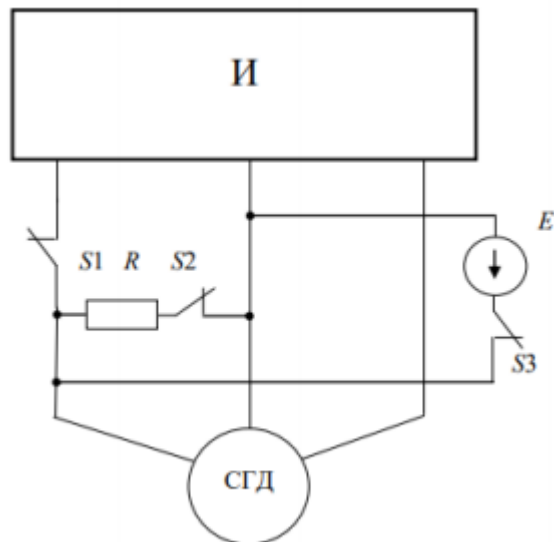


Рисунок 1.18 – Устройство импульсного намагничивания с цепью гашения энергии поля

Ключ $S1$ будет находиться в замкнутом состоянии при отсутствии импульса намагничивания, а ключи $S2$, $S3$ разомкнуты. При подаче импульса ключ $S1$ размыкается, а ключ $S3$ замыкается. Синхронно-гистерезисный двигатель будет намагничен передним фронтом импульсного тока. При окончании импульса ключ $S3$ размыкается, а $S2$ будет замкнут. Тогда запасенная энергия будет рассеиваться на разрядном резисторе R . В случае снижения импульсного тока до номинального значения положение ключей вернется в исходное состояние.

На рис. 1.19 гасящий резистор, зашунтированный диодом, подключен к цепи питания основного инвертора. При окончании подачи импульса реактивный ток замыкается через мост обратных диодов инвертора $И$, гасящий резистор R и выходной конденсатор первичного источника питания E . Гасящий резистор R уменьшает постоянную времени цепи для быстрого спада значения тока до номинального.

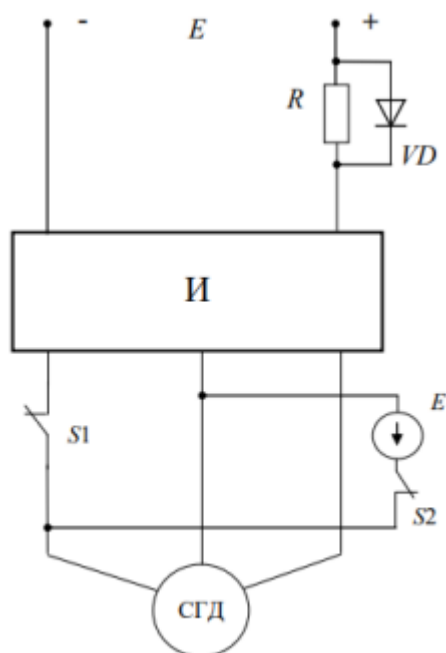


Рисунок 1.19 – Размещение устройства гашения энергии поля в цепи постоянного тока инвертора

Схема импульсного намагничивания на рис. 1.11 тоже способна гасить поле от импульса намагничивания. Для этого после окончания подачи данного импульса алгоритм работы ключей нулевого инвертора будет меняться. Работа полупроводникового ключа $S3$ задерживается во время спада импульсного тока, и вместо ключа $S1$ включается $S2$. Таким образом, в фазном напряжении двигателя будет образован импульс противоположной полярности. Импульсный ток спадает, и при достижении номинального значения ключи $S1$ и $S2$ замкнутся, а $S3$ разомкнется.

Если инвертор работает по закону широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного напряжения, то при задержке работы ключей ток возрастает на интервале задержки, что можно вызвать перевозбуждение синхронно-гистерезисного двигателя.

Также следует отметить, что практически всегда при небольших отклонениях на 5-10 эл. градусов от номинальных значений фазы импульса будут синхронны. Номинальные значения фазы импульса относительно фазного напряжения составляют величину 120-150 эл. градусов [7].

2. Применение синхронно-гистерезисных двигателей в гироскопических приборах

2.1. Основные свойства гироскопа

Гироскоп – специальный датчик, предназначенный для измерения углового положения объекта в пространстве относительно заданной системы координат. Работа всех гироскопов основана на свойстве быстровращающегося тела сохранять направление оси вращения неизменным тем точнее, чем больше скорость вращения и момент инерции. Принципиальная схема трехстепенного гироскопа представлена на рис. 2.1.

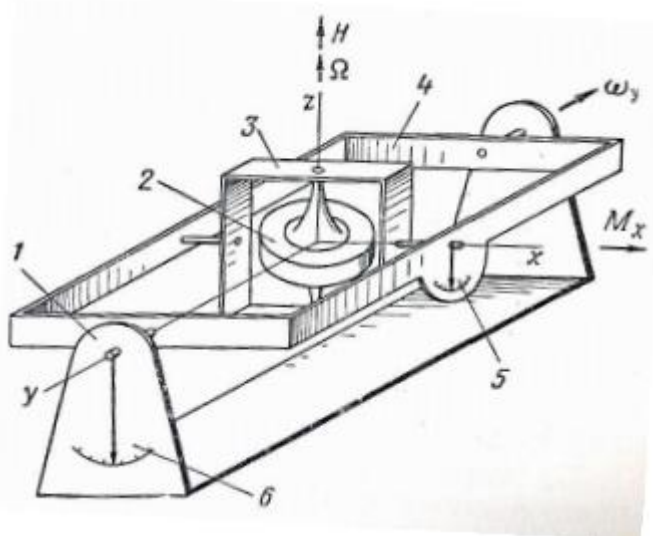


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема трехстепенного гироскопа:

- 1 – корпус; 2 – маховик; 3- внутренняя карданова рамка; 4 – внешняя карданова рамка; 5 – индикатор поворота внутренней рамки;
6 – индикатор поворота внешней рамки

Ось z является главной осью вращения маховика гироскопа. Оси x , y перпендикулярны друг другу и пересекаются в одной точке.

Еще одним свойством гироскопа является прецессия гироскопа. Механизм ее образования состоит в том, что если приложить момент вращения M_x к оси x , то рамка будет вращаться вокруг перпендикулярной оси y . То же самое будет, если приложить момент вращения к оси y .

Движение оси прекратится, если момент внешних сил равен нулю. Это указывает на безынерционность прецессии.

Направление и величина скорости описаны в уравнении (2.1):

$$M = [H \times \omega] \quad (2.1)$$

В случае перпендикулярных гироскопических осей уравнение (2.1) обретет вид (2.2):

$$\omega_y = \frac{M_x}{H} \cdot 10^5 \quad (2.2)$$

где M_x – момент внешних сил (н·см); $H = J \cdot \omega$ – кинетический момент маховика (г·см²/сек); J – момент инерции маховика относительно оси вращения z (г·см²); ω – угловая скорость вращения маховика (рад/сек); ω_y – угловая скорость прецессии гироскопа вокруг оси y (рад/сек).

Гироскопический момент M_x возникает при вращении внешней рамы гироскопа со скоростью ω_y . Момент, чье направление определяется из уравнения (2.1), стремиться совместить главную ось z с осью y по кратчайшему пути. То же самое будет возникать при M_y , т.е. прецессия гироскопа обратима.

Из-за безынерционности прецессии направление оси вращения маховика в пространстве нужно поддерживать постоянно. Как было сказано ранее, при отсутствии каких-либо внешних моментов скорость прецессии будет равна нулю. Это значит, что ось ротора не будет менять своего положения. Даже если вредный момент оказывает какое-то влияние на гироскоп, то его величина не будет значительной, поскольку скорость вращения оси будет в сотни раз меньше, чем при моменте на неподвижном маховике [8].

2.2. Влияние гиродвигателя на точность прибора

Паразитные моменты, находящиеся вокруг осей вращения рамок, чаще всего вызывают погрешности в работе гироскопа. Различные возмущения тоже вызывают колебания рамки, и заставляет ее совершать угловые перемещения. В установившемся режиме тип изменения скорости прецессии рамок будет таким же, как и тип изменения возмущающих кардановых моментов. В случае присутствия паразитирующего карданова момента M_K уравнение положения гироскопа соответствовать формуле (2.3):

$$H \cdot \Delta\omega_y = \pm M_K, \quad (2.3)$$

а его прецессия – формуле (2.4)

$$\Delta\omega_y = \pm \frac{M_K}{H} \cdot 10^5 (\text{рад} / \text{сек}) = \pm 2,06 \cdot 10^{10} \cdot \frac{M_K}{H} (\text{град} / \text{час}) \quad (2.4)$$

Тогда при возникновении данного паразитирующего момента ось гироскопа будет наклоняться с большей погрешностью с определенной скоростью ухода. Данная скорость показывает нам качество работы гироскопического двигателя. В таком случае уравнения (2.3) и (2.4) приобретут вид (2.5) и (2.6) соответственно:

$$k_{np} \alpha_x + H \cdot \omega_y = \pm M_K \quad (2.5)$$

$$\omega_y = -\frac{k_{np}}{H} \cdot \alpha_x \pm \frac{M_K}{H} = \omega_n \pm \Delta\omega_y, \quad (2.6)$$

где ω_y – реальная угловая скорость; ω_n – угловая скорость, измеренная прибором; $\Delta\omega_y$ – погрешность измерения угловой скорости.

Одинаковая запись статической ошибки для всех типов гироскопов исходит из того, что у всех гироскопов появляется гироскопический момент при наличии угловой скорости или вида угловой скорости при приложении момента.

Погрешность прибора уменьшается при увеличении отношения кинетического момента к суммарному карданову моменту. При постоянном кинетическом моменте ошибка может быть скомпенсирована при настройке

гироскопа тем же способом, каким устанавливают на нуль любой электроизмерительный прибор. Переменные моменты, состоящие из систематических и случайных, очень опасны для гироскопов. Систематические моменты могут быть измерены и скомпенсированы в приборах и в системах его обслуживания. Случайные моменты получаются в результате разности систематических и общих моментов. Случайные моменты еще опаснее систематических из-за того, что их невозможно устранить. В качестве примера рассмотрим суммарный момент, вызывающий дрейф не более 0,1 град/час. При реальных кинетических моментах современных гироскопов в 10^5 - 10^6 г·см²/сек суммарный карданов момент не должен превышать $5 \cdot (10^{-7}$ - $10^{-6})$ н·см. Такой момент равносителен моменту от смещения вдоль оси горизонтально вращающегося маховика массой 5 г на расстояние 1 -0,1 мкм.

Одной из причин возникновения кардановых моментов является трение в опорах карданова подвеса. Облегчение гироузла и выбор опор с минимальным трением уменьшает величину этих моментов, что реализуется в поплавковых гироскопах на рис 2.2.

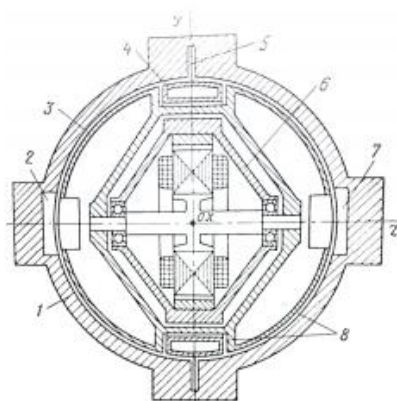


Рисунок 2.2 – схема трехстепенного поплавкового гироскопа

- 1 – корпус; 2 – датчики положения рамок; 3- внутренняя поплачковая рамка; 4 – внешняя поплачковая рамка; 5 – нить центровки рамки;
6 – гиродвигатель; 7- датчик момента относительно осей x и y;
8 – гироскопическая жидкость

Полый корпус 1 заполнен жидкостью. Гироузел не будет оказывать никакого давления на опоры внешней рамки в случае равенства среднего удельного веса гироузла и наполненной жидкости. Опоры будут разгружены при взвешенной внешней рамке. При таких условиях работы гироскопа любые внешние усилия будут устранены, что позволяет использовать в качестве элементов центрирования камни или нити. Согласно рис. 2.2 гироузел будет центрирован относительно внешней рамки 4 по нити, в которой условно отсутствует момент, и спокойно вращается вокруг оси х. Полая внешняя рамка центрирована относительно корпуса при помощи линии 5, которая позволяет рамке спокойно вращаться вокруг оси у. В корпусе закреплены датчики угла 2 и момента 7.

Принципиальная схема двухстепенного поплавкового гироскопа изображена на рис. 2.3.

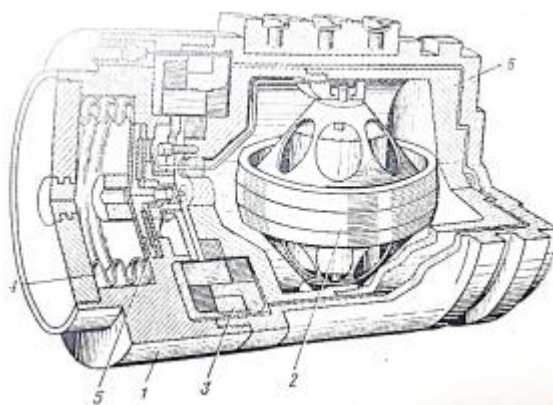


Рисунок 2.3 – Двухстепенной поплавковый гироскоп

1 – корпус; 2 – гиродвигатель; 3 – электромагнитный датчик угла и момента; 4 – сиффон; 5 – карданова опора; 6 - поплавок

Вязкая жидкость, используемая в качестве демпфера, заполняет небольшое пространство между корпусом 1 и гироскопом 6. Сиффон 4 нужен для компенсации расширения жидкости. Регулировка температуры нужна для облегчения согласования силы жидкости.

Помимо моментов трения в опорах также на точность гироскопа влияют моменты в таких трущихся приборах, как потенциометры или

токоъемники. В современных гироскопах для сокращения момента трения широкое применение вместо потенциометров получили бесконтактные датчики угла. Момент от токопровода пропорционален ее жесткости, чья величина зависит от поперечного сечения и тока на гиродвигателе [9].

Еще одной причиной возникновения карданова момента состоит в смещении центра масс гиروزла относительно центра подвеса. Центры гиروزла и подвеса при сборке должны точно совпадать. Остаточная несбалансированность относится к систематическим ошибкам, однако случайные смещения гиروزла несут в себе большую опасность. Они возникают при запуске или изменении условий работы двигателя. Центр масс способен смещаться, например, по оси z во внутренней рамке за счет «открытия» колокола под действием центробежных сил, что изображено на рис. 2.4.

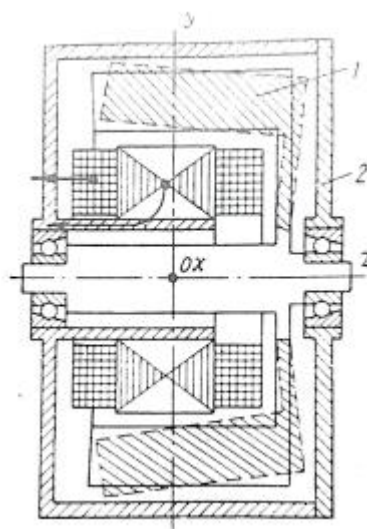


Рисунок 2.4 – «открытие» маховика (стрелки указывают на пути отвода тепла). 1 – маховик; 2 – внутренняя карданова рамка

Тот же самый эффект смещения центра масс может быть обусловлен несимметрией температурных деформаций при несимметричном расположении теплоотводов или источников тепла. Поэтому правая половина гиродвигателя на рис. 2.4 будет нагреваться сильнее левой из-за неравенства теплоотдачи. Следовательно, центр масс сдвинется в правую

сторону. В этом случае возникнет вредный момент вокруг оси, перпендикулярной плоскости чертежа, если оттуда действует ускорение гиродвигателя. Изменение температуры также способно вызвать смещение центра масс даже у симметричного гиродвигателя с различной жесткостью двух его половин в осевом направлении. Температурные деформации возможны при таких изменениях теплового режима, как запуск и торможение гиродвигателя, колебания в питающей сети и т.д.

Центр масс может сместиться еще из-за неравной жесткости элементов по разным осям гироскопа. Сила, влияющая на гироскоп, смещает центр масс не по ее направлению из-за разной упругости элементов. Угол между смещением и силой определяется из соотношения жесткостей гироскопа при любом направлении. Смещение центра масс будет наибольшим при действующей в плоскости оси другой рамки и оси маховика нагрузке под углом 45° . Абсолютная жесткость элементов по трем осям и смещение центра масс зависят друг от друга обратно пропорционально: чем выше жесткость, тем меньше смещение [10].

Самой маленькой жесткостью обладают подшипники и крышки гиродвигателя, поэтому часть ошибок из-за разной жесткости на осях будет принимать на себя гиродвигатель. Момент, даже в случае немалых перегрузок, при неравной жесткости элементов составляет немалую величину под действием веса гиродвигателя и его вибраций, возникающей из-за динамического небаланса или неправильной формы подшипников и электромагнитных сил.

Моменты от статического и динамического небаланса также относятся к данному типу моментов. Это исходит из-за того, что всякое усилие, действующее на подшипники, смещает центр масс по осевому и радиальному направлениям. Если жесткость в левой и правой части двигателя не равны друг другу, то радиальная нагрузка вызывает результирующее осевое перемещение, действующее в сторону меньшей жесткости [11].

Систематизация различных кардановых моментов и их связь с гиродвигателем представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Связь кардановых моментов с гиродвигателем

Источники кардановых моментов	Связь между моментом и гиродвигателем
СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ МОМЕНТЫ	
Чувствительные к ускорению	
Центр подвеса не совпадает с центром плавучести гирузла, связанным с неточностью геометрии поплавка и неравной плотности жидкости	Момент воздействия жидкости на поплавки изменяется при нагреве гиродвигателя
Температурные градиенты жидкости, вызывающие конвекционные токи	Несимметрия тепловых потоков гиродвигателя
Упругие несимметричные температурные деформации	Нагрев гиродвигателя, особенно при запуске
Изначальная несбалансированность рамки	Определяется массой гирузла и точностью взвешивания поплавка
Пространственная неравножесткость	Зависит от массы гиродвигателя и его вибраций
Нечувствительные к ускорению	
Упругие моменты в токопроводах ленточного типа, торсионах, центрирующих нитях, реактивные моменты от аэростатических опор и датчиков угла	Момент в опорах зависит от массы двигателя, а в токопроводах – от потребляемой мощности
Связь внешнего магнитного поля с магнитными материалами рамок и магнитных полей элементов рамок с магнитными и электропроводными материалами корпуса прибора	Влияние на изменение тока и напряжения гиродвигателя
Главная ось гироскопа и оси рамок перпендикулярны	Зависит от равномерности вращения маховика в пределах одного оборота
Гидромеханическое трение поплавка об жидкость	Зависит от размеров гирузла и точностью поддержания температуры жидкости

Продолжение таблицы 2.1.

СЛУЧАЙНЫЕ МОМЕНТЫ	
Нестабильная балансировка из-за упругих деформаций и износа подшипников.	Проявляется из-за температурных циклов при запуске гиродвигателя и его нестабильной мощности
Трение в карданных опорах и токосъемниках	Влияет масса гиросузда, потребление и стабильность мощности
Гистерезис в упругих опорах или токопроводах	Зависит от стабильности температурного режима
Трение поплавка о жидкость из-за ее загрязнения и возникновения пузырьков	Определяется абсолютным нагревом и значительным температурным циклом

Чтобы увеличить точность работы гироскопа, необходимо проанализировать все возможные случаи возникновения карданных моментов, после чего разработать конструкторские и технологические методы по их уменьшению ошибки работы прибора. Способы искусственной компенсации дрейфа гироскопа, применяемые сегодня, будут эффективны только лишь после использования всего арсенала технологических и конструкторских мероприятий.

Когда погрешность работы прибора становится меньше, все больше будут возникать «деликатные» источники дрейфа, и это не трение в карданных опорах. В таком случае нужно провести анализ влияния всех источников дрейфа на гиродвигатель.

Гиродвигатель – центр любого гироскопического прибора. Если гиродвигатель является основным источником точности прибора, то он также будет являться главным источником ошибок при работе giroприбора. Это связано с тем, что там больше всего возникает карданных моментов.

Размеры всего прибора впервую очередь зависит от размеров гироскопа, где вокруг гиродвигателя расположены рамки, датчики и арретирующие устройства. Поэтому массогабаритные характеристики двигателя будут влиять, например, на трение об опоры. Также на гиродвигатель, состоящего из большого количества деталей из разного

материала, многие из которых вращаются, приходится большее влияние центра смещения масс. Более того, там определяются многие вредные моменты, так как именно двигатель больше всего потребляет мощность и отдает тепло. В поплавковых гироскопах нагрев гиродвигателя влияет на момент трения об опоры из-за перепадов температуры в гиروزле и его остаточной невзвешенности. Выбор параметров токопровода любого типа нужно зависят от тока и мощности гиродвигателя. Размер и нагрев гиродвигателя влияют на момент от конвекционных токов в жидкости. Более того, некоторые вредные моменты зависят от градиентов температуры, динамической и статической разбалансировки маховика или от износа подшипников.

Поэтому стоит отметить гораздо большее влияние гиродвигателя на точность гироскопа. То есть чем точнее работа прибора, тем сильнее вредные моменты будут ощущаться. Решение задачи по увеличению точности будет находиться именно в гиродвигателе.

Постоянный кинетический момент определяет точность работы гироскопа. Коэффициент пропорциональности и соотношение между коррекционными моментами датчиков и прецессией зависят от изменения кинетического момента. Для того чтобы обеспечить высокую точность работы гироскопа, необходимо поддерживать кинетический момент стабильным. Это можно осуществить стабилизацией скорости вращения гиродвигателя. В некоторых случаях требуется поддержка такой большой точности, что нужно провести анализ всех возможных способов устранения изменений моментов инерции маховика под действием температурных деформаций.

Наиболее часто в традиционных гироскопах для повышения точности его работы стараются устранить кардановы моменты. Аэростатические опоры, электромагнитные подвесы и разновращающиеся кардановы подшипники уменьшают величину трения об опоры. Уменьшению влияние

смещения центра масс способствует правильный выбор новых материалов, которые способны улучшить конструкцию прибора.

Однако увеличивать все время предел точности не получится. Тепловые шумы будут ограничивать рост этого предела. Это связано с тем, что тепловых шумов всегда будут выше погрешностей по небалансу. Предел точности у обычных гироскопов равен 10^{-3} град/час. Но этот показатель возможно увеличить, если гироскоп будет работать на невесомости, где отсутствуют моменты по небалансу.

Конструкция гироскопов тоже оказывает влияние на точность прибора. У аэродинамического гироскопа этот показатель составляет 10^{-4} град/час. У электростатического, криогенного и молекулярного точность достигает до 10^{-6} град/час [12].

Однако, несмотря на более высокую точность гироскопов с новой конструкцией, обычные менее точные гироскопы все равно находят широкое применение за счет других равнозначных преимуществ.

2.3. Требования к гиродвигателям и способы их обеспечения

Рассмотрим общие правила и положения, которые необходимо применить при конструировании гироскопических приборов.

Одной из задач по конструированию гироскопического прибора является обеспечение оптимальных массогабаритных характеристик (желательно меньшего размера и веса). При этом важно сохранить высокую надежность конструкции при всех допустимых условиях эксплуатации прибора. Для обеспечения высокой точности работы гироскопического прибора необходимо выполнить такие условия, как:

1. Симметрия и равная жесткость деталей;
2. Механическая стабильность элементов и соединений;
3. Минимальная и постоянная мощность нагрева;
4. Максимальное отношение кинетического момента к весу.

Рассмотрим каждый пункт подробнее.

Симметрия и равная жесткость – основное требование для работы гироскопа с минимальными погрешностями. В первую очередь симметрии подвергается расположение все тяжелые, быстро вращающиеся и быстро нагреваемые элементы, симметричными должны быть и их связи. Некоторые второстепенные детали могут быть расположены несимметрично, если их влияние на точность работы гироскопа ничтожно мало. Симметрированию также должны соответствовать распределение массы элементов, их тепловые и магнитные поля и т.д.

Смещения каких-то параметров возможны даже в гироскопах с абсолютно симметричной конструкцией, если жесткость правой части не равна жесткости левой части. Сравнить жесткость возможно, если обеспечить правильные допуски одинаковых крышек и подшипников..

Для стабильной работы гироскопа нужно обеспечить равенство осевой и диаметральной жесткости. Чтобы этого добиться, нужно собирать двигатель из элементов с равной жесткостью, особенно это касается

подшипников и их крышек. В реальном случае не все элементы обладают одинаковой жесткостью. Неравную жесткость одного элемента можно скомпенсировать неравной жесткостью другого элемента, хотя в таком случае гиродвигатель будет работать с несколькими низкими собственными частотами.

Механическая стабильность элементов поддерживает положение центра масс гиродвигателя постоянным во всех режимах и условиях работы. Существует несколько причин механической нестабильности:

- неэластичные материалы; для ее устранения выбирают материалы с напряжением ниже предела упругости;
- нестабильность внутренней конструкции материала; тремическая стабилизация устраняет данный дефект.

У деталей нестабильность более значительна, чем у материалов или конструкции. Уменьшение числа деталей и напряженных посадок увеличивает стабильность работы гиродвигателя. Но из-за механических и тепловых деформаций такую нестабильность трудно устранить, так как элементы необратимо смещаются относительно друг друга.

В идеальном случае гиродвигатель нагревается с равным коэффициентом теплового расширения всех деталей. На практике для равного распределения температуры гироузла количество деталей и соединений стремятся сократить. Этого можно также достичь путем выбора материалов с подходящими коэффициентами теплового расширения.

Добротностью называется максимальное отношение кинетического момента гиродвигателя к его весу. При увеличении добротности точность работы гиродвигателя возрастает. Ее увеличение возможно за счет применения более плотных материалов вращающихся деталей, при этом плотность остальных деталей можно уменьшить. В реальности добротность возрастает вместе с количеством элементов гиродвигателя, хотя они не

всегда согласуются с коэффициентом теплового расширения. Тогда точность прибора либо не изменится, либо уменьшится.

Также ускорение гиродвигателя способствует возрастанию добротности. Однако следует учесть такие факторы, как энергопотребление или нагрев, которые отрицательно влияют на точность работы прибора.

Потребляемая мощность определяет, насколько сильно гиродвигатель нагревается и имеет неравное распределение температуры. В результате этого возникают вредные моменты, в основном постоянные, если мощность источников потерь гиродвигателя постоянна. Поэтому желательно поддерживать потребляемую мощность постоянной и минимальной. Во избежание температурных градиентов и деформаций потери и теплоотвод внутри гиродвигателя должны быть распределены равномерно.

Высокая потребляемая мощность приводит двигатель к перегреву вплоть до его разрушения. Регулирование температуры тоже будет затруднено, если прибор нагревается только за счет потребляемой мощности.

Существует несколько способов ограничить потребляемую мощность:

- уменьшить аэродинамические потери за счет заполнения гирикамеры легкими газами или вакуумом;
- уменьшить потери в подшипниках;
- увеличить КПД двигателя при помощи правильного проектирования и применения материалов с наилучшими характеристиками;

Для стабилизации потребляемой мощности нужно:

- предварительно обезглавив элементы внутри гиروزла, подвергнуть его герметизации;
- обеспечить осевую нагрузку на подшипники постоянной с низкой температурой подшипникового узла;
- использовать сбалансированный по частоте и напряжению источник питания.

Равномерному распределению температуры гироузла способствует удаление подшипников, на которые приходится большая часть потерь. Также для равномерного распределения температур можно заполнить гироузел гелием или водородом, поскольку у них хорошая теплопроводность.

Выполнение этих требований зависит от конструкции, технологии изготовления и затрат при производстве двигателя. У дорогих гиродвигателей уровень требований характеристик выше. Но желательно достичь определенного равновесия между стоимостью и характеристиками гиродвигателя.

В таблице 2.2 приведены результаты испытаний в различных условиях однофазного синхронно-гистерезисного двигателя, спроектированный при работе в водородной среде.

Таблица 2.2 – Сравнение характеристик двигателя в различных средах

Параметр	Среда		
	Воздух	Водород	Вакуум
Потребляемая мощность, Вт.	21	13,5	10
Перегрев маховика, °C	8	4,5	59
Перегрев центра оси, °C	7,5	4,5	33
Перегрев статорной обмотки, °C	42,5	26	96

Согласно таблице 2.2, лучшая среда для работы двигателя будет водород. Это связано с тем, что на спроектированном при работе в водородной среде гиродвигателе не были предусмотрены пути увеличения теплопередачи теплопроводностью. Хотя такое внедрение могло бы увеличить массу конструкции, снизив эффективность работы при водороде. В вакууме абсолютные перегревы и перепады температур будут наибольшими, поэтому эта среда будет наихудшей для работы данного двигателя [13].

3. Расчет устройства импульсного намагничивания

В качестве блока импульсного намагничивания был выбран блок на основе нулевого инвертора. Выбор был осуществлен благодаря тому, что при выходе из строя полупроводниковых ключей целостность фазных проводников синхронно-гистерезисного двигателя не нарушается. К тому же, источник постоянного тока может быть как основным, так и дополнительным. В качестве источника тока использован кварцевый генератором.

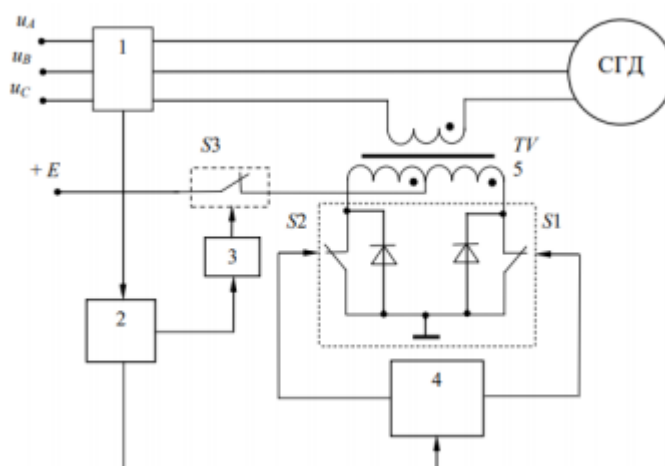


Рисунок 3.1 – реализация блока импульсного напряжения на основе нулевого инвертора в фазе синхронно-гистерезисного двигателя

Для проектирования устройства необходимо рассчитать трансформатор, силовые ключи и выбрать драйверы.

3.1. Расчет трансформатора

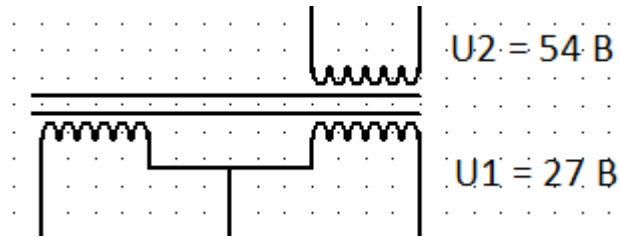


Рисунок 3.2 – схема трансформатора

Исходные данные:

- $U_1 = 27 \text{ В}$ – напряжение в первичной обмотке;
- $U_2 = 54 \text{ В}$ – напряжение на вторичной обмотке;
- $f = 2400 \text{ Гц}$ – эквивалентная частота;
- $I_1 = 0.2 \text{ А}$ – ток в первичной обмотке;
- $I_2 = 0.1 \text{ А}$ – ток во вторичной обмотке;
- $P_1 = 5,4 \text{ Вт}$ – мощность трансформатора

Коэффициент трансформации находится по формуле (3.1):

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{27}{54} = 0,5 \quad (3.1)$$

Сопротивление нагрузки, приведенное к напряжению в первичной обмотке трансформатора, вычисляется по формуле (3.2) [14]:

$$R_{\text{экв}} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{27}{0,2} = 135 \text{ Ом} \quad (3.2)$$

Сердечник для импульсного трансформатора выбирается из тех условий, чтобы он не был большого размера и мощности, а также полностью вместились все провода первичной и вторичной обмоток. Выбираем сердечник марки 2421 из стандартного ряда магнитопроводов ОЛ 25/35 – 5, представленный на рис. 3.3. ($a = 5 \text{ мм}$, $b = 5 \text{ мм}$, $d = 25 \text{ мм}$, $D = 35$, $S_o S_c = 1,23 \text{ см}^4$).

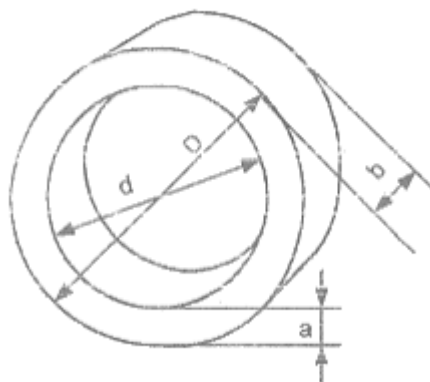


Рисунок 3.3 – Конструкция магнитопровода типа ОЛ

Габаритная мощность трансформатора находится по формуле (3.3):

$$P_{\varepsilon} = \frac{S_o S_c \cdot B_{\max} \cdot f}{150} = \frac{1,23 \cdot 1,35 \cdot 2400}{150} = 26,6 \text{ ВА} \quad (3.3)$$

где S_o – площадь окна сердечника магнитопровода (см^2);

S_c – поперечное сечение сердечника (см^2);

$B_{\max} = 1,35$ Тл – индукция в магнитопроводе (для высокочастотной холоднокатанной изотропной листовой электротехнической стали марки 2421 толщиной 0.18 мм);

f – частота подачи импульсов

Число витков в первичной обмотке:

$$W_1 = \frac{10^4 \cdot U_1 \cdot 0,25}{B_{\max} \cdot f \cdot S_c} = \frac{10^4 \cdot 27 \cdot 0,25}{1,35 \cdot 2400 \cdot 0,25} = 84 \text{ витка}$$

Число витков во вторичной обмотке:

$$W_2 = \frac{W_1}{k} = \frac{84}{0,5} = 168 \text{ витков}$$

Диаметр проводов в первичной обмотке:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_1}{\pi \cdot \delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 5}} = 0,23 \text{ мм}$$

Диаметр проводов во вторичной обмотке:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_2}{\pi \cdot \delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,1}{3,14 \cdot 5}} = 0,16 \text{ мм}$$

Для первичной обмотки выбираем провод ПЭВ-2 с диаметром 0,28 мм и сечением 0,04115 мм², а для вторичной обмотки – с диаметром 0,21мм и сечением 0,0227 мм².

3.2. Выбор силовых ключей

Выбор силовых ключей определяется максимальным коллекторно-эмиттерным напряжением ($U_1 = U_{КЭ\max} = 60 \text{ В}$, $I_1 = 0,2 \text{ А}$). В схеме подмагничивания будет выбран полевой транзистор марки 2SK1272 DS компании Renesas Electronics Corporation, представленный на рис. 3.4. Ниже приведены технические характеристики [15]:

- Тип транзистора – N;
- Максимальное напряжение сток-исток – 60 В;
- Максимальный ток стока – 1 А;
- Сопротивление открытого канала – 1 Ом;
- Максимальное напряжение затвора – 20 В;
- Рассеиваемая мощность – 0,75 Вт;
- Ёмкость затвора – 16 пФ.

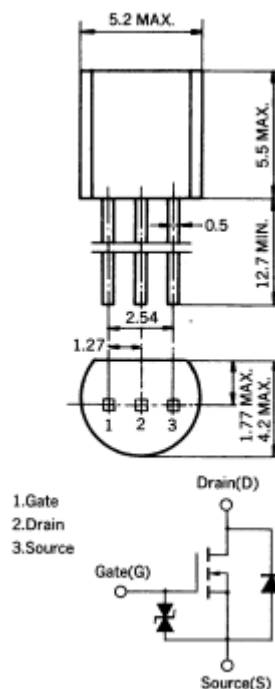


Рисунок 3.4 – Габаритный чертеж транзистора 2SK1272 DS.

3.3. Выбор драйверов

Параметры драйверов зависят от выбранного транзистора. Для полупроводниковых ключей будут использованы драйверы марки ISL83202IBZT фирмы Intersil, представленные на рис. 3.5. Они обладают такими характеристиками, как [15]:

- Корпус – SO-16;
- Количество нижних каналов – 2;
- Количество верхних каналов – 2;
- Максимальное напряжение смещения – 70 В;
- Максимальный выходной ток нарастания – 1 А;
- Максимальный выходной ток спада – 1 А;
- Рабочая температура - % -55..125 °С.

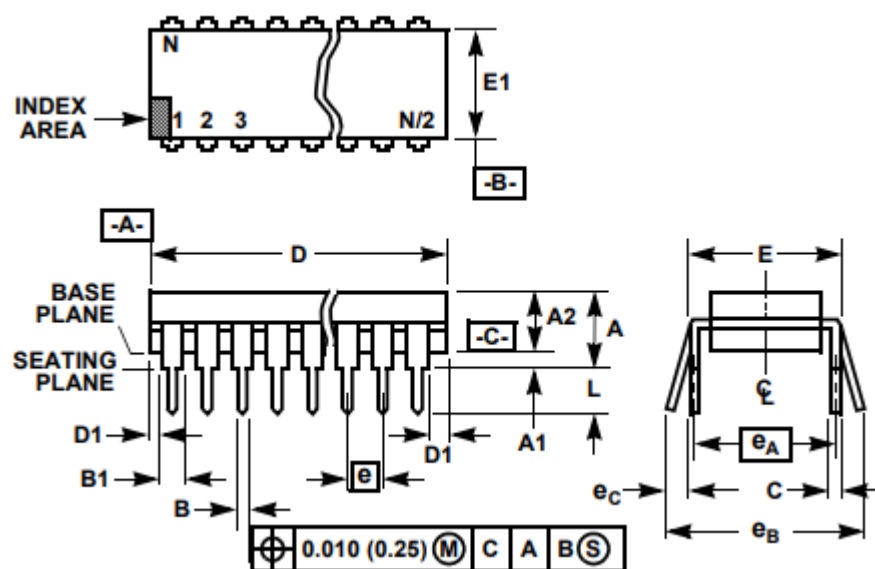


Рисунок 3.5 – Габаритный чертеж драйвера ISL83202IBZT

3.4 Разработка системы управления устройства импульсного подмагничивания

Разработанная система импульсного подмагничивания представлена в приложении А.

В системе подмагничивания входной сигнал в виде пилы подается по переднему и заднему фронту в устройствах сравнения. Сравниваться будут пилообразное напряжение частотой 400 Гц, подаваемое на положительный вход компаратора, с постоянным напряжением, подаваемое на отрицательный вход. Регулировать величину постоянного напряжения можно при помощи потенциометров R10 и R11, подключенных к одному источнику в 4 В. Причем, напряжение переднего фронта должно быть больше напряжения заднего фронта. После сравнения мы получим прямоугольный сигнал, где переход на единицу означает преобладание величины пилообразного напряжения над постоянным, а на ноль – постоянного над пилообразным. Во избежание дребезга устанавливается обратная связь в виде активной нагрузки, чья величина в тысячи раз превышает нагрузку у положительного входа.

Далее прямоугольный сигнал дифференцируется через цепь с конденсатором емкостью и заземленной нагрузкой. Эта операция необходима для поимки изменения прямоугольного сигнала. Полученные скачки проходят через диод, который обрезает отрицательные сигналы во избежание сбоев работы фронта.

Положительные скачки обоих фронтов встречаются в RS-триггере, который может быть представлен из двух элементов И-НЕ. На выходе будет получен прямоугольный сигнал, чей переход в единичное и нулевое состояние зависит от расположения дифференциальных скачков.

Однако полученный сигнал будет слишком частым для простого подмагничивания ротора. Частота сигнала составит 800 Гц, то есть вдвое выше частоты питающей сети. Это объясняется преобразованием

напряжения сети в положительном и отрицательном полупериоде. Сократить частоту подаваемого сигнала помогут два последовательно соединенных шестнадцатеричных счетчика U4 и U7. Каждый счетный ход запитан от одного источника VCC и отдельно нагружен, что дает единицу на входе. При замыкании ключа сигнал вместо счетного хода перейдет на землю, образуя ноль на входе счетчика. Различные комбинации нулей и единиц позволяет подавать на выход счетчиков сигнал через каждое n-ое число периодов. Также последовательно со счетчиком установлен триггер U17, растягивающий незначительный полученный выходной сигнал со счетчиков.

Далее рассмотрим схему формирования переднего фронта, состоящую из интегрирующей цепи и двух элементов И-НЕ. При подаче единичного сигнала на входное инвертирующее устройство U11 интегрирующая цепь получит на выходе ноль. На входе следующего И-НЕ U12 будут поданы единица и ноль, получая на выходе единицу. Эта единица заряжает заземленный конденсатор C1. Элемент И-НЕ U12 получит на вход ноль и единицу, что даст на выходе единицу. В случае резкого перехода с нуля на единицу входного сигнала у И-НЕ U11 конденсатор разрядится, отдавая энергию, она же единица, входу И-НЕ U12. На его выходе получим нулевой сигнал на небольшой промежуток времени, пропорциональный заряду конденсатора.

После формирования переднего фронта в работу вступает RS-триггер, где S вход подключен к формирователю, R вход – к элементу И-НЕ U12. При подаче единиц из И-НЕ U12 и формирователя на выходе триггера будет получен ноль. Далее в работу вступает еще один элемент И-НЕ U10, один вход которого подключен к входу счетчика, другой к выходу Q RS-триггера. При единице на входе счетчика и нуле на выходе RS-триггера будет получен единичный сигнал, подаваемый на элемент И-НЕ U9. В случае выхода из триггера U17 нулевого сигнала, на выходе И-НЕ U9 образуется единица,

которая блокирует поступление остальных сигналов до n -го импульса на выходе счетчиков.

Полученный редкий сигнал теперь должен распределиться между тремя ключами. В БИН с нулевым инвертором всегда будут замкнуты два любых ключа. При отсутствии подмагничивающего импульса ключи $S1$ и $S2$ будут замкнуты, а $S3$ разомкнут. При замыкании $S3$ будет разомкнут один из ключей $S1$ или $S2$, при этом вторичная обмотка трансформатора закорочена. Для правильной коммутации ключей нужно установить драйверы $Dr1 - Dr3$, которые переключают ключ при подаче сигнала. Драйвер $Dr3$ работает в течение всего периода подачи сигнала. Для распределения сигнала между $S1$ и $S2$ нужно установить перед их драйверами $Dr1$ и $Dr2$ соответственно счетный триггер $U14$ с двумя элементами И-НЕ $U15$ и $U16$. Счетный триггер $U14$ нужен для распределения сигнала по положительному полупериоду к ключу $S1$ и отрицательному к $S2$. Элементы И-НЕ $U15$ и $U16$ сравнивают сигнала триггера $U14$ с сигналом импульса. В случае их совпадения драйвер будет перекрыт.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел выпускной квалификационной работы предназначен для обоснования целесообразности использования системы импульсного подмагничивания синхронно-гистерезисного двигателя, с рассмотрением планово-временных и материальных показателей процесса проектирования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- составление SWOT-анализа работы и эксплуатации системы подмагничивания;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсоэффективности проекта.

4.1. SWOT-анализ системы импульсного подмагничивания

SWOT-анализ предназначен для оценки сильных и слабых сторон проекта, а также возможности и угрозы его реализации. SWOT-анализ оформляется в виде матрицы, в которой записаны все стороны и параметры проекта [16]. Все характеристики проекта можно свести в таблицу 4.1.

Для удобного составления матрицы SWOT будет использована следующие сокращения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	С1. Простая конструкция	Сл1. Низкие энергетические показатели
	С2. Высокая надежность	Сл2. Высокая стоимость
	С3. Низкий уровень шума	Сл3. Склонность изделия к колебаниям
	С4. Работа в различных режимах	Сл4. Необходимость в программном обеспечении

Продолжение таблицы 4.1.

Возможности:		
В1. Применение новых материалов при создании изделия	В1: C1,C2,C4	В1: Сл1, Сл2, Сл3
В2. Расширение области применения системы	В2: C1,C2,C3,C4	В2: Сл4
В3. Найти новые источники финансирования	В3: C1,C2	В3: Сл2, Сл4
В4. Появление дополнительного интереса к системе	В4: C1,C2,C3,C4	В4: Сл1,Сл2,Сл3,Сл4
Угрозы:		
У1. Низкий спрос	У1: C1,C2,C3,C4	У1: Сл1,Сл2
У2. Возможность выхода из строя элементов	У2: C2,C4	У2: Сл1,Сл3,Сл4
У3. Низкое качество элементов системы	У3: C2	У3: Сл1, Сл3
У4. Появление более конкурентоспособной системы	У4: C1,C2	У4: Сл1, Сл2

Матрица SWOT является основой для построения матриц возможностей и угроз, предназначенные для определения эффективности проекта.

Для того чтобы построить интерактивные матрицы, воспользуемся обозначениями из матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-), указывающие на наличие возможности и угрозы стороне проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Анализ интерактивных матриц приведен в таблицах 4.2 и 4.3. Он указывает на превосходство сильных сторон проекта над слабыми. Кроме того, вероятность наступления угрозы крайне мала. Это указывает на высокую надежность проекта.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны			
	С1	С2	С3	С4
В1	+	+	-	+
В2	+	+	+	+
В3	+	+	-	-
В4	+	+	+	+
	Слабые стороны			
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
В1	+	+	+	-
В2	-	-	-	+
В3	-	+	-	+
В4	+	+	+	+

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны			
	С1	С2	С3	С4
У1	+	+	+	+
У2	-	+	-	+
У3	-	+	-	-
У4	+	+	-	-
	Слабые стороны			
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
У1	+	+	-	-
У2	+	-	+	+
У3	+	-	+	-
У4	+	+	-	-

Во время разработки технического проекта пред инженером стоит задача в создании надежного проекта с низкой вероятностью возникновения угроз. Благодаря этому можно обеспечить высокое качество и надежность проекта, который будет востребован среди потребителей.

Основным недостатком проекта являются его низкие энергетические показатели, что может показаться неэффективным. Однако у этого проекта высокая надежность, которая обеспечивает длительную работу устройства.

4.2. Планирование работ и оценка времени их выполнения

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования изделия.

4.2.1. Структура работ в рамках технического проекта

После получения и уточнения темы выпускной квалификационной работы, нужно решить ряд задач для выполнения проекта:

1. Разработка технического задания (ТЗ), определение объема работ, выдача литературы;
2. Изучение литературы по теме – изучение всей необходимой информации для проектирования системы импульсного подмагничивания синхронно-гистерезисного двигателя;
3. Составление электрической схемы – составление примерной схемы согласно заложенной концепции, подбор электронных компонентов; составляется электрический чертеж системы;
4. Расчет устройства – проведение расчета параметров элементов схемы и выбор конкретных компонентов;
5. Корректировка и доработка – при необходимости провести исправление и перерасчет узлов схемы, оптимизация режимов работы электронных компонентов;
6. Выполнение графических работ – оформление всех графических материалов для воспроизведения устройства;
7. Оформление и обработка ВКР;
8. Проверка ВКР;
9. Исправление ошибок в работе;
10. Подготовка к защите ВКР;

11. Сдача и защита ВКР.

В ходе проектирования выделены два исполнителя: научный руководитель и инженер.

1. Научный руководитель проекта отвечает за:

- концепцию проекта;
- технические требования;
- проверку выполнения проекта.

2. Инженер отвечает за:

- концепцию проекта;
- технические требования;
- технико-экономический анализ вариантов возможных решений;
- обоснование конструкторской разработки;
- предварительные схемы и расчеты;
- пояснительную записку;
- конструкторскую разработку узлов и схем системы;
- расчеты, связанные с обеспечением надежности всех элементов

изделия;

- окончательную корректировку работы;
- комплект документации.

Распределение работ между научным руководителем и инженером представлено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Исполнители
Подготовка к выполнению задания	1	Разработка ТЗ, определение объема работ, выдача литературы	Научный руководитель
	2	Изучение литературы	Научный руководитель Инженер
Проектирование и расчет системы	3	Составление электрической схемы	Научный руководитель Инженер
	4	Расчет устройства импульсного подмагничивания	Научный руководитель Инженер
	5	Корректировка и доработка проекта	Инженер
Оформление и проверка ВКР	6	Выполнение графических работ	Научный руководитель Инженер
	7	Оформление и обработка ВКР	Инженер
	8	Проверка ВКР руководителем	Научный руководитель
	9	Исправление ошибок в работе	Инженер
Сдача ВКР	10	Подготовка к защите ВКР	Инженер
	11	Сдача и защита ВКР	Научный руководитель Инженер

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Особое внимание требует определение трудоемкости работ каждого участника проектирования, так как большую часть стоимости разработки в основном составляют трудовые затраты.

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Ожидаемая трудоемкость находится по следующей формуле[16]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (4.1)$$

где, $t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, t_{mini} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы.

В таблице 4.5 приведены итоговая ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ для инженера и научного руководителя.

Таблица 4.5 – Трудоемкость выполнения работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дн						Длительность работы	
		t _{min} ,		t _{max} ,		t _{ож} i,			
		НР	И	НР	И	НР	И	НР	И
1	Разработка ТЗ, определение объема работ, выдача литературы	1	-	1	-	1	-	1	-
2	Изучение литературы	1	15	1	20	1	17	1	17
3	Составление электрической схемы	2	20	2	27	2	22,8	2	23
4	Расчет устройства импульсного подмагничивания	2	27	2	34	2	29,8	2	30
5	Корректировка и доработка проекта	-	4	-	6	-	4,8	-	5
6	Выполнение графических работ	2	13	2	18	2	15	2	15
7	Оформление и обработка ВКР	-	4	-	6	-	4,8	-	5
8	Проверка ВКР руководителем	1	-	1	-	1	-	1	-
9	Исправление ошибок в работе	-	1	-	1	-	1	-	1
10	Подготовка к защите ВКР	-	2	-	4	-	2,8	-	3
11	Сдача и защита ВКР	1	1	1	1	1	1	1	1

4.2.3. Разработка графика проведения технического проекта

Самым удобным способом показать распределение обязанностей между исполнителями проекта по времени будет диаграмма Ганта [16].

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, в котором длительность выполнения работы будет указана в виде отрезка. Эти отрезки характеризуют даты начала и окончания выполнения работ.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [16]. На основе таблицы 4.5 строим график проведения работ, оформленный в таблице 4.6.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 124 календарных дня, начиная со второй декады февраля, заканчивая второй декадой июня. Из них:

- 100 рабочих дней – продолжительность выполнения работ дипломника;
- 10 рабочих дней – продолжительность выполнения работ руководителя.

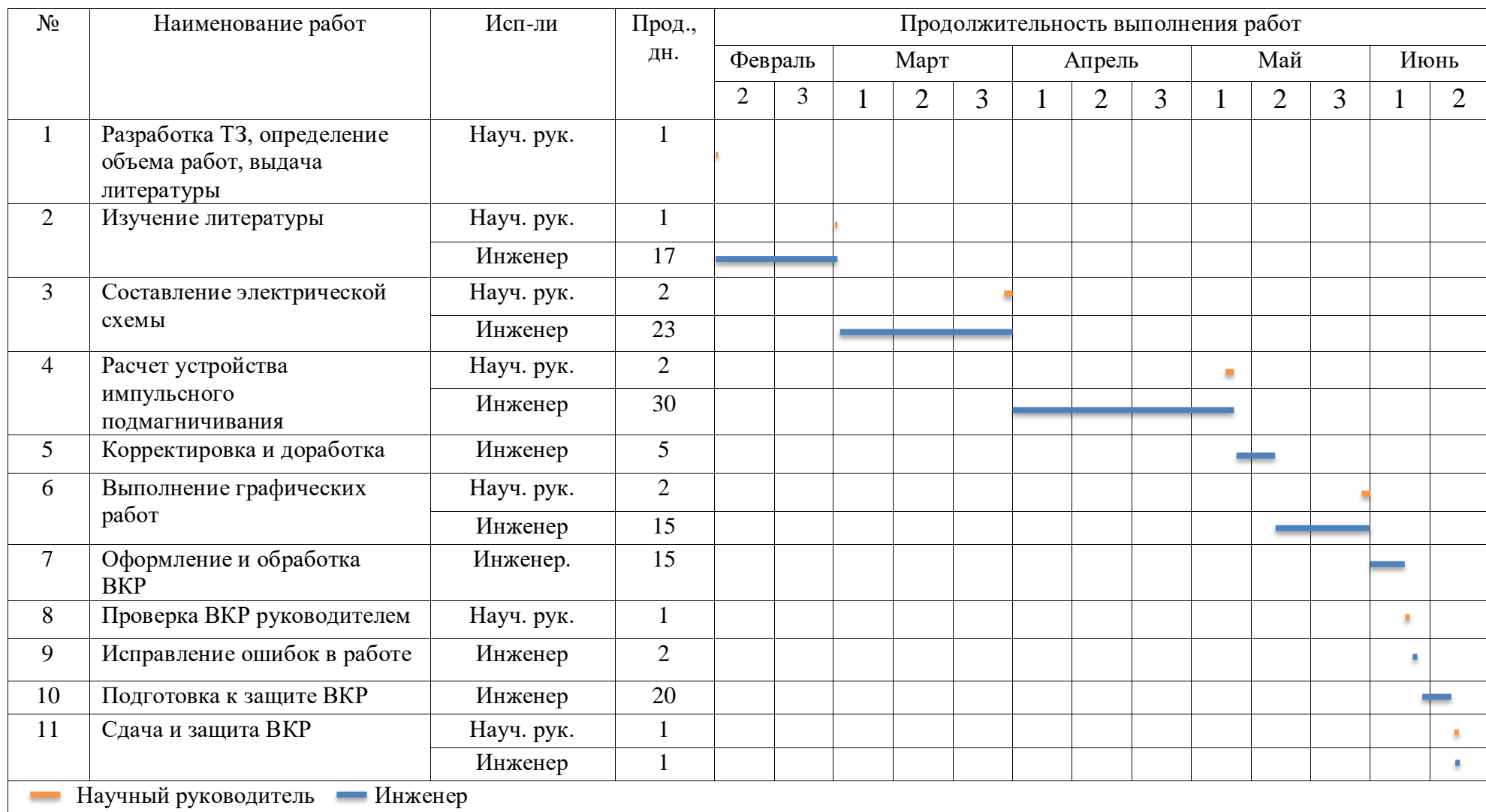
4.3. Составление сметы затрат на разработку технического проекта

Планирования себестоимости проведения технического проекта предназначено для экономического обоснования величины затрат на его выполнение.

Общие затраты на реализацию технического проекта будут состоять из следующих пунктов:

- материальные затраты;
- заработная плата исполнителей технического проекта
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Таблица 4.6 – Диаграмма Ганта



4.3.1. Расчет материальных затрат

К материальным затратам относятся затраты на электронные компоненты, паяльное оборудование, расходный материал, стоимость доставки. Материальные затраты рассчитываются по формуле:

$$Z_M = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.2)$$

где m – общее число видов материальных ресурсов; $N_{расхi}$ – предполагаемое количество материальных ресурсов i -го вида, которое необходимо для реализации проекта, натур.ед.; C_i – стоимость единицы i -го вида материальных ресурсов, руб./натур.ед.

Транспортно-заготовительные расходы – расходы, связанные с заготовкой и доставкой материальных ценностей (товаров, сырья, материалов, инструментов), в данном случае составляют 5% от материальных затрат.

Итоговые материальные затраты представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Категория	Наименование	Кол-во, шт	Цена за ед., руб.	Затраты на оборудование, руб.
Трансформатор	Спроектированный	1	290	290
Транзисторы	2SK1272	3	20	60
Диод	SR560	4	17	68
Резисторы	1кОм	15	2	30
Резисторы	1МОм	2	3	6
Потенциометр	1кОм	2	40	80
Конденсаторы	100пФ	3	45	135
Переключатели	MSW-01A-10-S	8	68	544
Микросхема	7404N	2	160	320
Микросхема	74ACT04PC	6	19	114
Счетчик	74193N	2	50	100
Счетный триггер	74LVC1G74DP.125	2	20	40
Триггер RS-типа	CD4043BE	1	20	20
Компаратор	521CA301	2	240	480
Драйвер	ISL83202IBZT	3	270	810
Итого				3097

С учетом транспортно-заготовительных расходов итоговые материальные затраты будут равны:

$$З_M = 3,1 \cdot 1,05 = 3,3 \text{ тыс. руб.}$$

4.3.2. Затраты на заработанную плату

Под заработной платой понимают финансовое вознаграждение за труд работника. Величина заработной платы будет зависеть от количества, качества условий выполнения работы, квалификации работника. Также в заработную плату включают выплаты компенсационного и стимулирующего характера.

Формула (4.3) вычисляет основную заработную плату:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (4.3)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата работника; $З_{дн}$ – средняя дневная заработная плата работника; T_p – время выполнения работ.

По формуле (4.4) находится среднедневная оплата труда:

$$З_{дн} = \frac{З_{ТС} \cdot k_p}{F_d}, \quad (4.4)$$

где $З_M$ – заработная плата по тарифной ставке; k_p – районный коэффициент (для Томска $k_p = 1,3$); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Тарифная ставка, руб.	Районный коэффициент, руб	Месячная заработная плата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во рабочих дней	Основная заработная плата, руб.
Науч. рук.	47104	14131	61235	2355	10	23550
Инженер	21760	6528	28288	1088	100	108800
Итого						132350

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле (4.5):

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (4.5)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (0,12 – 0,15).

Расчет полной заработной платы, равной сумме основной и дополнительной, приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, тыс. руб.	Дополнительная заработная плата, тыс. руб.	Полная заработная плата, тыс. руб.
Руководитель	0,15	23,6	3,5	27,1
Инженер	0,12	108,8	13,1	121,9
Итого		132,4	16,6	149,0

4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов рассчитываются отчисления в пенсионный (ПФ) и федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС). Величина отчислений составляют 30,2% от полной заработной платы:

$$З_{co} = 149,0 \cdot 0,302 = 45,0 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

4.4.4. Затраты на накладные расходы

В накладных расходах приведены все не включенные ранее статьи расходов (ксерокопирование, оплаты услуг связи или почты). Все эти расходы составляют 16 % от общих затрат на проект.

4.4.5. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта. Смета проекта рассчитана в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты	3,3	1,4
Заработная плата исполнителей	149,0	63,5
Отчисления во внебюджетные фонды	45,0	19,1
Накладные расходы	37,7	16,0
Итого	235,0	100,0

Была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 124 календарных и 101 рабочий день. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку

технического проекта составляет 235 тыс.руб, из которых более половины (63,5 %) составляют затраты на оплату труда.

4.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность проекта можно вычислить по интегральному показателю [16]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.7)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – коэффициент веса i -го варианта исполнения разработки; b_i – оценка i -го варианта исполнения разработки.

В качестве оценок проекта будут представлены требования к потребителям бортовой сети самолетов:

1. Материалоемкость – количество материала затрачиваемые на пр
2. Безопасность – безопасная эксплуатация и безопасное отключение при нештатных ситуациях;
3. Надежность – бесперебойная работа системы во всем диапазоне условий указанных в паспортных данных;
4. Простота и удобство в эксплуатации – эргономичность и удобный интерфейс управления системы;
5. Массогабаритные характеристики – объём и масса, занимаемые на борту летательного аппарата, наилучшие характеристики соответствуют меньшей массе и объёму;
6. Энергоэффективность – высокий коэффициент полезного действия системы.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Критерии ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент	Оценка разработки
1. Материалоемкость	0,1	4
2. Безопасность	0,2	5
3. Надежность	0,2	5
4. Простота и удобство в эксплуатации	0,1	4
5. Массогабаритные характеристики	0,2	5
6. Энергоэффективность	0,2	5
Итого	1,0	

Ресурсоэффективность нашего проекта будет равна:

$$I = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,8$$

Полученная оценка является очень высокой, что говорит о надежности проекта и эффективном использовании ресурсов при его производстве.

В процессе выполнения части финансового менеджмента выпускной квалификационной работы были составлены SWOT-анализ проекта, график работы над ним, смета затрат на проект и оценена ресурсоэффективность.

В SWOT-анализе были указаны все сильные и слабые стороны технического проекта. В результате анализа было установлено, что проект надежный из-за большего числа сильных сторон.

При планировании распределения технических работ между двумя исполнителями была создана диаграмма Ганта, показывающая время и сроки выполнения работ исполнителями.

В смете технического проекта были рассчитаны все финансовые затраты на его реализацию. Итоговая сумма составляет 235 тыс. руб.

Ресурсоэффективность проекта, вычисленная по интегральному показателю, равно 4,8 баллам. Это говорит о высокой эффективности реализации проекта.

5. Социальная ответственность

Система импульсного подмагничивания синхронно-гистерезисного двигателя предназначена для повышения его энергетических характеристик (КПД, коэффициент мощности). Применяется данная система там же, где используется двигатель: гироскопические приборы, линии по разделению изотопов тяжелых элементов, устройства записи и хранения информации. В данной выпускной работе рассматривается применение в гироскопических приборах летательного аппарата.

Целью выполнения раздела является обеспечение безопасных условий труда в процессе производства, исключить несчастные случаи на предприятиях, обезопасить воздействие на окружающую среду и рационально использовать экономические ресурсы.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовую основу обеспечения безопасности и здоровья составляет Конституция РФ, а также законы и постановления, принятые правительственными органами РФ и входящих в нее республик, и подзаконные акты: указы президентов, постановления правительства РФ, местных органов властей и специально уполномоченных органов.

Трудовой кодекс РФ обеспечивает основные правовые гарантии в части обеспечения производственной безопасности. В Трудовом кодексе РФ установлены права и обязанности работника и работодателя, условия охраны труда, подготовки, переподготовки и повышения квалификации, трудоустройства, социального партнерства; закреплены правила оплаты труда и его нормирования, порядок разрешения трудовых вопросов. Некоторые главы кодекса указывают на особенности правового регулирования труда отдельных категорий лиц (несовершеннолетних, вахтовиков и т.д.).

Помимо Трудового кодекса РФ в перечень основных законодательных фактов о труде и организации труда (ОТ) входят также Федеральные законы «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» (1998 г.), «О техническом регулировании» (2002 г.) и др.

В РФ действует система нормативных актов, содержащих государственные нормативные требования по безопасной жизнедеятельности:

1. Система стандартов безопасности труда (ССБТ) Госстандарта: государственные стандарты (ГОСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), стандарты предприятий (СТП).
2. Гигиенические нормативы (ГН), санитарные нормы (СН) и санитарные правила и нормы (СанПиН) Минздрава РФ;
3. Система строительных норм и правил (СНиП);

4. Правила устройства и безопасной эксплуатации (ПУБЭ), правила безопасности федеральных надзоров;
5. Правила и инструкции по ОТ;
6. Организационно-методические документы;
7. Система стандартов «Охрана природы»;
8. Система стандартов «Безопасность в чрезвычайных ситуациях»;
9. Технические регламенты

Управление и охрана труда осуществляются такими органами, как:

1. Федеральная служба по труду и занятости (Роструд), следящая за соблюдением норм трудового законодательства;
2. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), проверяющая выполнение санитарно-гигиенических норм и правил;
3. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), контролирующая безопасность в промышленных предприятиях и при использовании атомной энергии;
4. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор), следящая за воздействием предприятия на окружающую среду;
5. Государственная экспертиза труда;
6. Ведомственный контроль;
7. Оперативный контроль;
8. Общественный контроль[17].

Организацией рабочего места и приспособлением к нему человека занимается эргономика. Под эргономикой понимают науку, исследующая функциональные возможности человека в процессе его трудовой деятельности и технологических процессов для повышения производительности труда.

Эргономические требования рабочего места описаны в ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 все оборудование должно быть размещено в пределах зоны досягаемости моторного поля. При проектировании оборудования и организации рабочего места следует антропометрические показатели женщин и мужчин. Для проведения очень тонкой работы по сборке схемы управления синхронно-гистерезисным двигателем высота рабочей поверхности для женщин составляет 930 мм, для мужчин 1020 мм. Конструкция регулируемого кресла оператора должна соответствовать требованиям ГОСТ 21889-76. Для управления производственным процессом механизмы управления должны быть расположены так, чтобы исключить перекрещивание рук, причем наиболее важные механизмы должны располагаться в центре рабочего места. Средства отображения информации нужно располагать в вертикальной и горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$, а часто используемые средства отображения информации под углом $\pm 30^\circ$, а редко используемые под углом $\pm 60^\circ$.

При работе стоя по ГОСТ 12.2.033-78 оборудование должно находиться в зоне досягаемости рук. Также следует учесть разные антропометрические показатели у мужчин и женщин: разница в росте на 11,1 см, длина вытянутой руки на 6,2 см, длина вытянутой вперед руки – 5,7 см, длина ноги – 6,6 см, высота глаз над уровнем пола – 10,1 см. При средней категории работ высота рабочей поверхности у женщин составляет 930 мм, к мужчин – 980 мм. Для удобного перехода к другому рабочему месту должно быть предусмотрено пространство для стоп не менее 15 мм по глубине и высоте и 530 мм по ширине. Органы управления и отображения информации размещаются так же, как и для сидячей работы.

5.2. Производственная безопасность

При производстве системы подмагничивания синхронно-гистерезисного двигателя необходимо учесть опасные и вредные факторы, негативно влияющие на трудоспособность и жизнедеятельность работников. В таблице 5.1 указаны все возможные опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть в процессе производства.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Превышение уровня шума		+	+	СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – меры безопасности при превышении уровня шума. ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний". ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования". СНиП 23-05-95 - Естественное и искусственное освещение. СанПиН 2.2.4.548-96(1) - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Повышенный уровень вибрации		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света		+	+	
4. Возможные ненормативные условия		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	
6. Пожар	+	+	+	

5.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Вредные факторы способны вызвать заболевания у работников производства. Одним из таких факторов является шум, возникающим при работе с двигателем. Шум негативно влияет, в первую очередь, на органы слуха, нервную систему, вызывает бессонницу и снижает внимательность к окружающим процессам. Также может повыситься артериальное давление и измениться секреторная функция желудка и других органов.

Предельно допустимые уровни шума при производстве представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровень звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	66

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 предусматриваются такие меры безопасности, как:

- индивидуальные средства защиты;
- звукоизолирующие кабины;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;

Вторым вредным фактором является вибрация, под которой понимается колебание твердых тел. Ее можно вызвать, если подключить двигатель к нагрузке выше номинальной. Больше всего вибрация негативно воздействует на центрально-нервную систему, желудочно-кишечный тракт и вестибулярный аппарат. При длительном воздействии вибрации у человека может возникнуть виброболезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Самые опасные частоты лежат в диапазоне 6-9 Гц, потому что их значения близки к собственным частотам внутренних органов человека. Технические нормы вибрации представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Технические нормы вибрации в цехе

Среднеквадратичная частота, Гц	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Логарифмический уровень виброскорости	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Для защиты от вибрации на руках нужно надеть перчатки или рукавицы с вкладышами или прокладками, выполненные по ГОСТ 12.4.002 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний».

Для защиты ног используются сапоги или полусапоги с упруго-демпфирующей подошвой, выполненной по ГОСТ 12.4.024 «Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования».

Третьим вредным фактором является недостаток естественного света. Этот фактор негативно влияет на зрение человека и ритм сна.

Разряд зрительной работы при производстве будет IV со средней точностью зрительной работы. Коэффициент естественной освещенности (КЕО) и наименьший размер объекта различия представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Нормируемые значения КЕО

Вид зрительной работы	Наименьший размер объекта различия, мм	Разряд зрительной работы	КЕО при естественном освещении, %	
			Верхнем и комбинированном	Боковом
Средняя точность	0,5 – 1	IV	4	1,5

В случае недостатка естественного освещения можно привести такие меры:

- использование искусственного освещения помимо естественного;
- сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- Установка ультрафиолетовых ламп рядом с обычными осветительными лампами для обогащения искусственного освещения.

Вся работа будет сопровождаться при определенном микроклимате помещения. В таблице 5.5 описаны нормы микроклимата в производственных помещениях согласно ГОСТ 12.1.005 - 88.

Таблица 5.5 – Нормы микроклимата в производственном помещении

Время года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодное	Средней тяжести	17-19	40-60	0,3
Теплое со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20,22	40 - 60	0,2 – 0,5

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96(1) для поддержки микроклимата необходимо использовать:

- приточно-вытяжную вентиляцию по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) и центробежные вентиляторы.
- систему воздушного отопления.

Опасные факторы, в отличие от вредных, вызывают травмы при производстве, нанося больший вред здоровью. Существуют два основных опасных фактора: электропоражение и пожар.

Электропоражение возникает при соприкосновении рабочим оголенных участков проводников с током хотя бы в двух точках.

Рассматриваемое производственное помещение не обладает повышенной опасностью, однако нужно провести такие способы защиты, как:

- изоляция проводов и её непрерывный контроль;
- предупредительная сигнализация и блокировка;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- защитное заземление и защитное отключение.

Для индивидуальной защиты в установках до 1000 В используют диэлектрические перчатки, коврики и обувь, инструменты с изолирующими ручками и изолирующие подставки.

Под пожаром понимают неконтролируемый процесс горения, несущий в себе человеческие жертвы и материальные убытки. Источником пожара может являться неисправная работа двигателя или производственного оборудования, неисправная проводка, несработавшее устройство защитного отключения и т.д.

С точки зрения классификации помещений по пожарной опасности (ППБ-03) данное производственное помещение относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов). Класс пожароопасной зоны – П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44.

Для обнаружения пожара в цехе используются дымовые извещатели. В случае их срабатывания на территории всего производства объявляется тревога, в помещении, где обнаружен огонь, срабатывает система полива.

5.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

В этом разделе будут описаны мероприятия, которые помогут снизить вероятность возникновения опасных факторов при производстве.

Для уменьшения влияния шума можно заменить подшипники качения подшипниками скольжения, вовремя проверить и заменить смазочный материал у подшипников. Однако, эти меры вызовут удорожание производства.

В качестве мер по уменьшению влияния вибрации можно жестко зафиксировать рабочие механизмы с использованием виброгасящих материалов.

При недостатке естественного света самым простым решением снизить нагрузку на органы зрения будет перекраска отдельных частей установки в более разборчивые цвета.

Установка систем вентиляции и кондиционирования поддержат микроклимат производственного помещения в значениях, установленных ГОСТ 12.1.005 - 88.

В качестве мер по сокращению числа пожаров и поражения электрическим током каждый работник должен проходить технику безопасности на предприятии и рабочую аттестацию. Также можно установить знаки, предупреждающие о повышенной опасности возникновения пожара или поражения электричеством.

5.3. Экологическая безопасность

Производство любой продукции будет сопровождаться негативным воздействием на окружающую среду. В нашем производстве будут выделяться твердые, жидкие и газообразные отходы.

Газообразные отходы негативно сказываются на атмосфере и воздухе в помещении. К таким видам отходов относятся углекислый газ, пары воды, пыль и т.д. Для очистки воздуха в помещениях используют систему вентиляции воздуха, а при выбросе в атмосферу – фильтры.

Жидкие возникают в результате влажной уборки помещения, использования водопровода, туалета и т.д. Эти отходы поступают через городскую канализацию в систему централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

Большую часть отходов составляет твердый мусор: бытовой мусор (бумага, пища, ткани для уборки), отработанные люминесцентные лампы, остатки материалов. Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014)[27] установлен порядок сортировки бытового мусора в специальные контейнеры. Постановление правительства РФ от 03.09.2012 №681 [28] описывает порядок утилизации люминесцентных ламп, которые относятся к 1 классу опасности окружающей среды из-за содержания в них ртути. Ртуть может распространиться по воздуху или воде в случае повреждения колбы лампы. Поэтому при утилизации ламп в первую очередь следят за целостностью колб. В случае выхода ртути осколки нужно собрать в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненной раствором марганцевокислого калия. Загрязнённые поверхности необходимо обработать.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние, при котором результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте или территории происходит нарушение нормальных условий жизнедеятельности людей, нанося вред их здоровью, ущерб имуществу и окружающей среде.

Источником ЧС может быть опасное природное явление, авария или происшествие на предприятии, эпидемия болезней или средства поражений. В нашем случае наибольшую опасность представляют пожары и поражение электрическим током.

ЧС порождают различные факторы, оказывающие негативное влияние на окружающую среду и народное хозяйство. В результате этого влияния происходит гибель или нарушение здоровья людей, разрушение или снижение производственных мощностей объектов народного хозяйства.

Эти факторы принято называть поражающими. Для нашего производства существуют несколько разновидностей факторов:

1. Механические факторы – повреждения, вызванные ударной волной при взрывах боеприпасов или технических объектов, а также воздействия сейсмических волн во время землетрясения.

2. Термические факторы – влияние высоких и низких температур. При высоких температурах возникают пожары, при низких – перебои в подаче тепла и воды.

3. Психозэмоциональное воздействие – непатологические психозэмоциональные реакции (страх, тревога) и патологические состояния (расстройство сознания, психические расстройства), возникающие у людей в экстремальных ситуациях.

Опасные и вредные факторы ЧС, воздействуя на определенную территорию, образуют очаг поражения.

При этом различают:

- простой очаг поражения, который возникает под действием одного поражающего фактора (пожар, удар током);
- сложный очаг, состоящий из двух и более поражающих факторов (разрушение конструкций после пожара) [17].

Согласно действующим правилам безопасности предусматривается обязательно заблаговременное составление планов ликвидаций ЧС на промышленных предприятиях. Это объясняется тем, что аварии чаще всего развиваются стремительно, поэтому не всегда представляется возможной быстрая разработка эффективных мероприятий по спасению людей и ликвидации последствий ЧС.

В планах устанавливаются конкретные обязанности должностных лиц предприятия на время аварийной ситуации. Планы находятся у диспетчера, главного инженера предприятия и командира соответствующего подразделения спасательной службы. Состояние противоаварийной профилактики на всех объектах контролируется Ростехнадзором и его местными органами. Происшедшие на предприятиях аварии, которые сопровождались травмами и гибелью людей, расследуются в соответствии с "Инструкцией о расследовании и учёте несчастных случаев на подконтрольных Ростехнадзора предприятиях и объектах. Основные задачи расследования — выявление причин и условий возникновения аварии, разработка мер по недопущению их в дальнейшем. Ответственность лиц, чьи действия или поступки вызвали аварию, определяется законами РФ.

Помимо планов по предотвращению ЧС должны быть разработаны меры по сокращению вероятности их возникновения. Для этого нужно выявить все возможные источники ЧС, по возможности уменьшить их количество, соблюдать нормы безопасного производства, контролировать состояние и вовремя производить ремонт производственного оборудования и подачи ресурсов, повысить квалификацию работников по противодействию ЧС.

Заключение

В выпускной квалификационной работе была спроектирована система импульсного подмагничивания на основе нулевого инвертора по фазе синхронно-гистерезисного двигателя для применения в составе гироскопов навигационных систем автономных объектов. Проведен расчет трансформатора. Для магнитопровода была выбрана электротехническая сталь марки 2421 с магнитной индукцией $B_m = 1,35$ Тл. Для работы выбраны силовые ключи (полевые FET транзисторы типа 2SK1272 DS) и драйверы к ним (типа ISL83202IBZT). Также была разработана система управления устройства импульсного намагничивания.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы реализации данного технического проекта. Также был составлен и построен календарный план график работ и произведен расчёт сметы затрат на проект.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены все нормативные и законодательные базы производства и обустройства рабочего места, проанализированы вредные и опасные факторы, наносящие вред здоровью человека и окружающей среде, и разработаны меры по уменьшению влияния этих факторов. Также были составлены мероприятия по переработки отходов производства и предотвращению ЧС.

Список использованной литературы

1. Орлов И. Н. Гиродвигатели / Ю. В. Арбузов, Б. А. Делекторский, В. Б. Никаноров и др.; Под ред. И. Н. Орлова. – М.: Машиностроение, 1983. – 176 с.
2. Алпер Н. Я., Данилов-Нитусов Н. Н. Однофазный синхронный гистерезисный двигатель для электропроигрывателей и радиол // Вестник электропромышленности. 1956. - №9. -С. 39-40.
3. Делекторский Б. А., Тарасов В. Н. Управляемый гистерезисный привод. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.
4. Бертинов А. И. Электрические машины авиационной автоматики. – М.: Оборонгиз, 1961. – 430 с.
5. Шрейнер Р. Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока / А. А. Ефимов.; Под общей ред. Р. Т. Шрейнера. – Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. – 250 с.
6. Гарганеев А. Г. Режим скольжения в гистерезисном электроприводе // Изв. вузов. Электромеханика. 1989. - №5. – С. 95 – 98.
7. Гарганеев А. Г. Мехатронные системы с синхронно-гистерезисными двигателями: монография / С. В. Брованов, С. А. Харитонов, А. Г. Гарганеев; Томский политехнический университет. – Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 227 с.
8. Пельпор Д. С. Гироскопические приборы и автопилоты. – Изд-во «Машиностроение», 1964.
9. Сломьянский Г. А., Прядилов Ю. Н. Поплавковые гироскопы и их применение. – Оборонгиз, 1958.
10. Ишлинский А. Ю. Механика гироскопических систем. – АН СССР, 1963.
11. Венгеров В. А., Селезнев С. Р. Дрейф гироскопа от собственной разбалансировки и внешних вибраций. – Изд-во АН СССР, «Механика и машиностроение», 1962, №3.

12. Голахен Г. Гироскопы, основанные на новых принципах. – «Вопросы ракетной техники», 1960, №1. 93
13. Орлов И.Н. Проектирование гироскопических электродвигателей / Б. А. Делекторский, Н. З. Мастяев, И. Н. Орлов. – М.: Машиностроение, 1968. – 252 с.
14. Мишуров В. С. Устройства преобразовательной техники: Методические указания по выполнению курсового проекта. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002. – 127 с.
15. Каталог продукции [Электронный курс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/catalog>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 20.05.18).
16. Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: учебное пособие З.В. Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
17. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.
18. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
19. ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».
20. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
21. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 «Меры безопасности при превышении уровня шума».
22. ГОСТ 12.4.002 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний».

23. ГОСТ 12.4.024 «Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования».

24. ГОСТ 12.1.005 - 88 «Общие Санитарно-Гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

25. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

26. СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

27. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных».

28. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств».

Приложение А. Принципиальная схема устройства импульсного подмагничивания

